



**UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA**

---

**LÚCIO FLÁVIO SOARES-CALDEIRA**

**POTÊNCIA CRÍTICA EM EXERCÍCIO CONTÍNUO E  
INTERMITENTE: RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E TEMPO  
ATÉ EXAUSTÃO**

---

Londrina  
2009

**LÚCIO FLÁVIO SOARES-CALDEIRA**

**POTÊNCIA CRÍTICA EM EXERCÍCIO CONTÍNUO E  
INTERMITENTE: RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E TEMPO  
ATÉ EXAUSTÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação, em Educação Física da Universidade Estadual de Londrina – UEM/UEL como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Educação Física.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Yuzo Nakamura.

Londrina  
2009

**LÚCIO FLÁVIO SOARES-CALDEIRA**

**POTÊNCIA CRÍTICA EM EXERCÍCIO CONTÍNUO E  
INTERMITENTE: RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E TEMPO  
ATÉ EXAUSTÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação, em Educação Física da Universidade Estadual de Londrina – UEM/UEL como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Educação Física.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Fábio Yuzo Nakamura  
Orientador

---

Carmen Silvia Grubert Campbell

---

Marcos Doederlein Polito

Londrina, 11 de março de 2009.

# DEDICATÓRIA

---

---

*Á minha mãe Maria da Penha Soares e irmã Erika Soares Caldeira pelo apoio, dedicação e auxílio desde o início da minha vida.*

*Em memória ao meu pai Luziário Caldeira.*

*E para minha namorada Aneliza de Paiva Silva pelos incentivos e por sempre me fazer feliz a cada momento.*

# **AGRADECIMENTOS**

---

---

*A Deus pelas oportunidades proporcionadas e pela existência da vida.*

*Ao professor e orientador Fábio Yuzo Nakamura por acreditar e sempre proporcionar condições para divagações mentais férteis e não férteis.*

*À professora Jeane Barcelos Soriano pelos seus ensinamentos acadêmicos e não acadêmicos colocados a disposição em todas as ocasiões.*

*Aos professores Herbert Gustavo Simões e a Universidade Católica de Brasília por nos ceder espaço e materiais laboratoriais para coleta de dados desta dissertação.*

*Ao professor Edilson Serpeloni Cyrino pela abertura e grande incentivador em minha iniciação científica.*

*Ao grande amigo e companheiro Nilo Massaru Okuno por se dispor a ir realizar as coletas em Brasília-DF. Sua ajuda foi essencial para finalização deste trabalho em todos os aspectos, além de ser um grande amigo.*

*Aos amigos e companheiros de mestrado Luiz Augusto Buoro Perandini e Patrícia Chimin pela convivência e aprendizado.*

*Aos alunos e voluntários da Universidade Católica de Brasília pela grande receptividade e auxílio em nossas coletas, em especial aos amigos Paulo Russo Segundo, Marcelo Magalhães Sales e sua Avó, Rafael Rodrigues (Rafilsks) e Daisy Motta. A ajuda de vocês foi de grande importância pra mim.*

*Aos professores pertencentes ao programa de mestrado associado em Educação Física UEL/UEM.*

*Aos alunos e integrantes do Grupo de Estudos das Adaptações Fisiológicas ao Treinamento (GEAFIT), por sempre auxiliar nos projetos e por compartilhar das idéias e ideais acadêmicos discutidos em nossas reuniões. Além de sempre me proporcionar grandes ensinamentos.*

*À Universidade Estadual de Londrina, instituição que me proporcionou a minha formação de graduação e pós-graduação.*

*À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro com a bolsa de mestrado.*

*Em especial, à minha família por me educar e acreditar nos meus propósitos profissionais e pessoais, buscando sempre me proporcionar as condições para que eu pudesse realizá-los.*

SOARES-CALDEIRA, Lúcio Flávio. **Potência crítica em exercício contínuo e intermitente: respostas fisiológicas e tempo limite até exaustão.** 2009. 75f. Dissertação (Mestrado em Educação Física) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009.

## RESUMO

---

---

O objetivo do presente estudo foi comparar a potência crítica estimada em esforços contínuos (PCc) e intermitentes (PCi) e suas respostas fisiológicas (consumo de oxigênio ( $VO_2$ ), frequência cardíaca (FC) e concentrações sanguíneas de lactato ([La])) e percepção subjetiva de esforço (PSE) durante e no tempo limite até exaustão (Tlim). Participaram deste estudo dez homens, moderadamente ativos ( $25,5 \pm 4,2$  anos;  $74,1 \pm 8,0$  kg;  $177,6 \pm 4,9$  cm). Os testes foram divididos em 3 etapas; 1ª – recrutamento dos sujeitos; 2ª – a aplicação do teste incremental para determinação do consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2max}$ ), frequência cardíaca máxima (FCmax) e concentração máxima de lactato sanguíneo ([La<sub>max</sub>]) e máxima potência aeróbia (MPA), e posteriormente foram aplicados 4 testes preditivos exaustivos contínuos (Wc1 – Wc4) e 4 intermitentes (Wi1 – Wi4) utilizando uma razão de esforço e pausa ativa a 50% da MPA ( $P_{50\%rec}$ ) de 30s:30s. A partir da relação hiperbólica entre a intensidade e Tlim obtidos nos testes contínuos e intermitentes, foram determinados os parâmetros potência crítica contínua (PCc) e intermitente (PCi); 3ª – foram executados os testes na PCc e na PCi sendo analisados as respostas de  $VO_2$ , FC, [La] e PSE ao longo do tempo até o Tlim. Foi encontrada uma excelente relação entre a intensidade e Tlim nos esforços contínuos ( $R^2 = 0,99 \pm 0,03$ ) e intermitentes ( $R^2 = 0,97 \pm 0,03$ ). Os resultados demonstraram que os parâmetros estimados de forma intermitente (PCi e capacidade de trabalho anaeróbio intermitente (CTAi)) foram maiores quando comparados ao formato de exercício contínuo (PCc e capacidade de trabalho anaeróbio contínuo (CTAc)), ( $P < 0,05$ ). Porém, as respostas fisiológicas de  $VO_2$ , FC, [La] e PSE durante o exercício realizado na PCc e PCi não se diferiram entre ambos os testes ao longo do tempo. As respostas fisiológicas ( $VO_2$ , FC e [La]) ao final dos testes realizados, o que correspondia ao Tlim na PCi e PCc foram significativamente menores dos encontrados para  $VO_{2max}$ , FCmax e [La<sub>max</sub>]. Para PSE final, em média, nos testes na PCc e PCi foram classificadas pela escala de Borg como “>18: muito intenso” e “>19: muito, muito intenso”, respectivamente. Houve uma alta correlação entre o  $VO_{2max}$  ( $L \cdot min^{-1}$ ) com as intensidades na PCc e PCi (W) ( $r = 0,91$  e  $0,90$ ), entre a MPA (W) com a PCc e PCi (W) ( $r = 0,98$  e  $0,95$ ) e o Tlim na PCc e PCi ( $r = 0,80$ ). Além disso, as intensidades PCc e a PCi apresentaram alta correlação entre si ( $r = 0,96$ ). Entretanto, o  $VO_{2max}$  ( $L \cdot min^{-1}$ ) não se correlacionou significativamente entre os Tlim na PCc e na PCi ( $r = -0,50$  e  $-0,52$ ). Os achados deste estudo demonstram haver semelhantes respostas fisiológicas e perceptuais durante os esforços contínuos (PCc) quanto intermitentes (PCi), apesar das intensidades absolutas serem diferentes na PCc e PCi ( $P < 0,05$ ).

**Palavras-chave:** Potência crítica. Respostas fisiológicas. Tempo limite até exaustão. Esforços intermitentes.

SOARES-CALDEIRA, Lúcio Flávio. **Critical power in continuous and intermittent exercise: physiological responses and time to exhaustion.** 2009. 75p.  
Dissertation (Master's Degree in Physical Education) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009.

## ABSTRACT

---

---

The propose of study was to compare the continuous (CPc) and intermittent (CPi) critical power and their physiological responses (oxygen uptake ( $VO_2$ ), heart rate (HR) e blood lactate concentrations ([La]) and ratio of perceived exertion (RPE) during at time to exhaustion (Tlim). Participated this study ten man, moderately actives ( $25.5 \pm 4.2$  years;  $74.1 \pm 8.0$  kg;  $177.6 \pm 4.9$  cm). The tests were in tree stages; 1<sup>th</sup> it was the subjects recruitment; 2<sup>th</sup> the application of incremental test to determine the maximal oxygen uptake ( $VO_{2max}$ ), maximal heart rate (HRmax), maximal blood lactate concentrations ( $[La_{max}]$ ) and maximal aerobic power (MAP). After this, four exhaustion continuous predictive tests (Wc1 – Wc4) and four intermittent (Wi1 – Wi4) predictive tests with a ratio of effort and recovery at 50% MPA ( $P_{50\%rec}$ ) at the times 30s:30s, respectively were performed randomly. The hyperbolic relation between the intensities and Tlim in continuous a intermittent tests provided the critical power continuous (CPc) and intermittent (CPi), and; 3<sup>th</sup> it were performed the CPc and CPi tests being analyzed the  $VO_2$ , [La], HR responses and RPE during the exercises until the Tlim. It was found an excellent adjust hyperbolic between the continuous ( $R^2 = 0.99 \pm 0.03$ ) and intermittent ( $R^2 = 0.97 \pm 0.03$ ) intensities with the Tlim. The parameters estimated on continuous (CPc and anaerobic work capacity continuous (AWCc)) were lower than the intermittent (CPi and anaerobic work capacity (AWCi)), ( $P < 0.05$ ). However, the physiological responses of  $VO_2$ , [La], HR and RPE during the exercise performed at CPc and CPi doesn't differ in both tests. The ending physiological responses at CPc and CPi were lower compared to the values of  $VO_{2max}$ , HRmax and  $[La_{max}]$ . The average of ending RPE at CPc and CPi tests were classified as ">18: very intensity" and ">19: very, very intensity" by Borg<sup>11</sup> scale, respectively. There was a high correlation between the  $VO_{2max}$  ( $L \cdot min^{-1}$ ) with the CPc and CPi intensities ( $r = 0.91$  and  $0.90$ ), between the MAP with CPc and CPi ( $r = 0.98$  and  $0.95$ ) and with the Tlim at CPc and CPi ( $r = 0.80$ ). Besides, both intensities (CPc with CPi) showed high correlation ( $r = 0.96$ ). However, the  $VO_{2max}$  ( $L \cdot min^{-1}$ ) is not correlated significantly for the Tlim at CPc with CPi ( $r = -0.50$  e  $-0.52$ ). The findings of this study showed similar physiological responses and perceptual as much continuous effort as intermittent, although the intensities are different for CPc and CPi ( $P < 0.05$ ).

**Keywords:** Critical power. Physiological responses. Time to exhaustion. Intermittent efforts

# LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Representação de resultados obtidos por um sujeito em 4 testes exaustivos para estimativa da PC e CTA em cicloergômetro, utilizando as equações de predição. Modelo hiperbólico (potência-tempo) demonstrado pela equação 1 (painel A: PC = 242,2 W; CTA = 24474 kJ), linear (trabalho-tempo) pela equação 2 (painel B: PC = 242,39 W; CTA = 24595 kJ) e linear (potência-1/tempo) pela equação 3 (painel C: PC = 241,3 W; CTA = 24904 kJ)..... 19
- Figura 2** – Médias e desvios-padrão dos tempos e potências obtidos nos testes preditivos contínuos (círculos fechados), intermitentes (círculos abertos) e o ajuste da curva para predição do modelo hiperbólico de potência crítica contínua (PCc – linha contínua;  $R^2 = 0,99 \pm 0,03$ ), intermitente (PCi – linha tracejada;  $R^2 = 0,97 \pm 0,03$ ) e a média da máxima potência aeróbia (MPA)..... 40
- Figura 3** – [La],  $VO_2$ , FC e PSE ao final dos testes preditivos exaustivos contínuos e intermitentes (painéis A, B, C e D, respectivamente) em contraste com  $[La_{max}]$ ,  $VO_{2max}$ , FCmax e PSE final do teste incremental (linha tracejada) ..... 42
- Figura 4** – Respostas entre as [La] (A),  $VO_2$  (B), FC (C) e PSE (D) durante as intensidades da PCc e PCi. As linhas tracejadas representam os valores alcançados de  $[La_{max}]$ ,  $VO_{2max}$  e FCmax do teste incremental..... 46

# **LISTA DE QUADROS**

<b>Quadro 1</b> – Descrição das equações propostas para o modelo de PC de dois parâmetros .....	17
-------------------------------------------------------------------------------------------------	----

# **LISTA DE TABELAS**

---

---

<b>Tabela 1</b> – Valores médios $\pm$ desvio-padrão (DP), mínimo e máximo das variáveis analisadas no teste incremental (n =10).....	39
<b>Table 2</b> – Média $\pm$ desvio-padrão dos valores de potência, Tlim and %MPA obtidos nos testes preditivos contínuos (Wc1 – Wc4) e intermitentes (Wi1 – Wi4) .....	41
<b>Tabela 3</b> – Comparações entre o desempenho em cicloergômetro, respostas fisiológicas, percepção subjetiva de esforço (PSE) e tempo limite até exaustão (Tlim) na potência crítica contínua (PCc) e intermitente (PCi) .....	44

# LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

---

---

<b>[La]</b>	Concentrações sanguíneas de lactato
<b>[La<sub>max</sub>]</b>	Concentração máxima de lactato sanguíneo no teste incremental
<b>°C</b>	Grau Celsius
<b>ATP</b>	Adenosina trifosfato
<b>bpm</b>	Batimento por minuto
<b>CDA</b>	Capacidade de distância anaeróbia
<b>CDAi</b>	Capacidade de distância anaeróbia intermitente
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono
<b>Cr</b>	Creatina
<b>CTA</b>	Capacidade de trabalho anaeróbio
<b>CTAi</b>	Capacidade de trabalho anaeróbio intermitente
<b>ECG</b>	Eletrocardiograma
<b>FC</b>	Frequência cardíaca
<b>FC<sub>rep</sub></b>	Frequência cardíaca de repouso
<b>FC<sub>exe</sub></b>	Frequência cardíaca em exercício
<b>FC<sub>max</sub></b>	Frequência cardíaca máxima
<b>f<sub>crit</sub></b>	Frequência crítica
<b>g/dia</b>	Quantidade em gramas por dia
<b>h</b>	Horas
<b>H<sup>+</sup></b>	Íons de hidrogênio
<b>IAT</b>	Limiar anaeróbio individual
<b>J</b>	Joules
<b>kJ</b>	Kilojoules
<b>km</b>	kilometros
<b>L.min<sup>-1</sup></b>	Litros por minuto
<b>MAOD</b>	Máximo déficit de oxigênio acumulado
<b>MEELi</b>	Máximo estado estável de lactato intermitente
<b>min</b>	Tempo em minutos
<b>ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup></b>	Mililitros por kilograma por minuto
<b>m.s<sup>-1</sup></b>	Velocidade em metros por segundo

<b>mM</b>	milimolar
<b>MPA</b>	Máxima potência aeróbia
<b>NaF</b>	Fluoreto de sódio
<b>O<sub>2</sub></b>	Oxigênio
<b>P<sub>50%rec</sub></b>	Potência de recuperação a cinquenta por cento da MPA
<b>PC</b>	Potência crítica (referente ao modelo teórico)
<b>PCc</b>	Potência crítica em esforços contínuos
<b>PCi</b>	Potência crítica em esforços intermitentes
<b>PCr</b>	Creatina fosfato
<b>pCO<sub>2</sub></b>	Pressão parcial de dióxido de carbono
<b>Pi</b>	Fosfato inorgânico
<b>Pmax</b>	Máxima potência instantânea
<b>PSE</b>	Percepção subjetiva de esforço
<b>PSE<sub>final</sub></b>	Percepção subjetiva de esforço antecedente ao Tlim.
<b>r</b>	Coefficiente de correlação de <i>Pearson</i>
<b>RPM</b>	Rotações por minuto
<b>R-R</b>	Intervalos R-R do sinal eletrofisiológico complexo QRS cardíaco
<b>seg</b>	Tempo em segundos
<b>Tlim</b>	Tempo limite até exaustão
<b>VC</b>	Velocidade crítica
<b>VCi</b>	Velocidade crítica em esforços intermitentes
<b>VCO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono expirado
<b>VO<sub>2</sub></b>	Consumo de oxigênio
<b>VO<sub>2</sub>max</b>	Consumo máximo de oxigênio
<b>VO<sub>2</sub>pico</b>	Consumo pico de oxigênio
<b>vVO<sub>2</sub>max</b>	Velocidade associada ao consumo máximo de oxigênio
<b>W</b>	Watts
<b>W.min<sup>-1</sup></b>	Watts por minuto
<b>η<sup>2</sup></b>	Tamanho do efeito = ETA
<b>μl</b>	Microlitros
<b>®</b>	Marca registrada

# SUMÁRIO

---

---

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	17
2.1 POTÊNCIA CRÍTICA A PARTIR DE ESFORÇOS CONTÍNUOS .....	17
2.2 RESPOSTAS FISIOLÓGICAS NA POTÊNCIA CRÍTICA DE ESFORÇOS CONTÍNUOS.....	21
2.3 CONSIDERAÇÕES FISIOLÓGICAS EM ESFORÇOS INTERMITENTES .....	23
2.4 ADAPTAÇÃO DE ESFORÇOS INTERMITENTES A PARTIR DO MODELO DE POTÊNCIA CRÍTICA EM ESFORÇOS CONTÍNUOS.....	24
2.5 APLICAÇÃO DO MODELO DE POTÊNCIA CRÍTICA EM ESFORÇOS INTERMITENTES .....	26
<b>3 JUSTIFICATIVA DO ESTUDO</b> .....	30
<b>4 OBJETIVOS</b> .....	31
4.1 OBJETIVO GERAL.....	31
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	31
<b>5 MÉTODOS</b> .....	32
5.1 SUJEITOS .....	32
5.2 ETAPAS DO ESTUDO .....	32
5.3 EQUIPAMENTOS E TÉCNICAS DE ANÁLISE .....	34
5.4 TESTE INCREMENTAL.....	35
5.5 TESTES PREDITIVOS.....	36
5.6 TESTES EXAUSTIVOS NA PCC E PCI.....	37
5.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....	37
<b>6 RESULTADOS</b> .....	39
<b>7 DISCUSSÃO</b> .....	47
7.1 COMPARAÇÕES ENTRE OS PARÂMETROS ESTIMADOS PARA OS EXERCÍCIOS REALIZADOS DE FORMA CONTÍNUA E INTERMITENTE.....	47

7.2 RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E PERCEPTUAIS NOS TESTES PREDITIVOS, NA PCc E PCI.....	49
7.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE O TLIM.....	52
7.4 APLICAÇÕES PRÁTICAS E VARIAÇÕES COM O TREINAMENTO CONTÍNUO E/OU INTERMITENTE .....	53
<b>8 CONCLUSÕES .....</b>	<b>56</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>57</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>67</b>
ANEXO 1 – (Termo de consentimento livre esclarecido) .....	68
ANEXO 2 – (Aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos).....	72
<b>CRONOGRAMA.....</b>	<b>73</b>

# 1 INTRODUÇÃO

---

---

A relação hiperbólica entre a carga de trabalho imposta e o tempo limite até a exaustão ( $T_{lim}$ ) foi proposta inicialmente por Monod e Scherrer<sup>1</sup> para exercícios mono-articulares. A partir desta relação, dois parâmetros bioenergéticos foram estimados, sendo a potência crítica (PC) fornecida pela assíntota e a capacidade de trabalho anaeróbio (CTA) pelo grau de curvatura da hipérbole. A PC seria a intensidade que teoricamente o indivíduo poderia tolerar infinitamente, com dependência direta das fontes energéticas aeróbias. Já a CTA seria o trabalho total, fixo e finito, realizado acima da PC, sendo suprido pelos estoques energéticos anaeróbios (fosfagênicos e glicólise anaeróbia).

Este conceito bioenergético foi estendido para outros exercícios como ciclismo em ergômetro<sup>2</sup>, corrida<sup>3</sup>, corrida aquática<sup>4</sup>, natação<sup>5</sup>, remo<sup>6</sup> e canoagem<sup>7</sup>. Porém, nestas formas de exercício, a variável dependente deixa de ser a potência (Watts) e passa a ser a velocidade ( $m \cdot s^{-1}$ ), e os respectivos parâmetros PC e CTA passam a ser denominados de velocidade crítica (VC) e capacidade de distância anaeróbia (CDA)<sup>8,9</sup>, exceto no ciclismo em cicloergômetro. Além disso, estes pressupostos vêm sendo amplamente aplicados no meio esportivo, pelo método ser não-invasivo, de fácil aplicação, sendo inclusive recentemente proposto por meio de testes não-exaustivos<sup>10</sup> com auxílio de uma escala de percepção subjetiva de esforço (PSE)<sup>11</sup>. Há também a possibilidade de se estimar a PC a partir de um único teste *all-out* de 3 minutos de duração<sup>12,13</sup>.

Vários estudos têm demonstrado que a PC é um indicador de máximo estado estável de variáveis fisiológicas, como o consumo de oxigênio ( $VO_2$ ) e lactato<sup>14-18</sup>, apesar de outros estudos demonstrarem resultados contraditórios, em que a PC mostra-se acima dos indicadores fisiológicos de estabilidade<sup>19,20</sup>. E, além disso, a intensidade da PC, ou da velocidade crítica (VC), apresenta alta correlação com o desempenho na maratona<sup>21</sup>, em tiros contra relógio de 2000m no remo<sup>22</sup> e em 6000m na canoagem<sup>7</sup>. Já a CTA tem sido associada ao máximo déficit acumulado de oxigênio (MAOD)<sup>23,24</sup>. Vale ressaltar que o modelo de PC apresentado até então tem sido empregado em esforços de característica contínua (PCc); logo, assume que esforços

dessa natureza sejam determinados somente pelas suas variáveis condicionantes: PC e CTA.

Mesmo em esportes com característica contínua (ex.: corrida, ciclismo, natação, canoagem, remo), séries de treinamentos com esforços intermitentes têm sido amplamente utilizados para melhora no desempenho aeróbio e anaeróbio, podendo causar adaptações positivas nesses componentes<sup>25</sup>. Além disso, em esforços de natureza intermitente, o desempenho sofre interferência de outros fatores, como duração das pausas e/ou o modo da recuperação entre as séries intermitentes (ex.: pausa ativa ou passiva), que determinam o desempenho durante as sessões intermitentes. Dessa forma, elas podem gerar diferentes respostas fisiológicas e metabólicas<sup>26-30</sup>.

Neste sentido, a capacidade de realizar esforços intermitentes pode ser expressa pela duração e/ou a intensidade realizada de forma intermitente, bem como pela duração e intensidade das pausas recuperativas<sup>31</sup>. Assim como em esforços contínuos, o modelo de PC se mostra aplicável ao formato de exercício intermitente, mas até o momento utilizando-se apenas de pausas passivas (PCi)<sup>32-36</sup>.

Ao se compararem as respostas fisiológicas na PCi e máximo estado estável de lactato intermitente (MEELi), as respostas cardiovasculares de frequência (FC) e  $VO_2$  foram semelhantes ao longo de 30 min<sup>35</sup>. Porém, as respostas das concentrações sanguíneas de lactato ([La]) e PSE foram diferentes, sendo maiores após 20 min na PCi<sup>35</sup>, embora as intensidades não tenham diferido significativamente. Acredita-se, então, que o exercício na PCi possa gerar uma maior resposta de lactatemia do que o exercício no MEELi. Mas ainda não se sabe se esta resposta na PCi se assemelha à encontrada na PCc. Estudos recentes demonstraram que a intensidade absoluta da PCi é maior que a da PCc<sup>34,35</sup>. Porém, há que se considerar que esse fato ainda se mostra conflitante devido aos diferentes aspectos metodológicos aplicados<sup>31,32</sup>. Por sua vez, estes fatores podem ser imprescindíveis na orientação de cargas de treinamento a partir das estimativas de PCc e PCi. Adicionalmente, ainda não se conhece o Tlim e as respostas fisiológicas na PCi em comparação à PCc. Assim, essas informações seriam importantes para que se delimite o significado fisiológico da PCi comparativamente à PCc, e para verificar sua validade.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 POTÊNCIA CRÍTICA A PARTIR DE ESFORÇOS CONTÍNUOS

Inicialmente, Monod e Scherrer<sup>1</sup> verificaram uma relação hiperbólica em exercícios mono-articulares entre a carga de trabalho e seu Tlim em diferentes intensidades. A partir desta relação, dois parâmetros bioenergéticos distintos foram determinados (aeróbio = PC; e anaeróbio = CTA). Além disso, a grande facilidade na obtenção de seus parâmetros, aplicabilidade em vários tipos de exercícios e em diversas populações e boa relação com outros índices obtidos por meio de medidas fisiológicas facilitam sua utilização. Por se tratar de um método não-invasivo e de baixo custo operacional, têm-se aplicado o modelo de PC, tanto em condições laboratoriais e de pesquisas, quanto em avaliações realizadas em atletas para determinação de cargas de treinamento.

A representação matemática do modelo bioenergético de PC de dois parâmetros pode ser obtida mediante a relação hiperbólica entre a potência *versus* Tlim (potência-tempo), por ajustes lineares em relação ao trabalho *versus* Tlim (trabalho-tempo) e pela relação entre a potência *versus* inverso do Tlim (1/s) (potência-1/tempo). A determinação da PC e CTA a partir dessas relações é feita mediante a solução das equações 1, 2 e 3, respectivamente (Quadro 1).

$$\text{Equação 1: tempo} = \text{CTA} / (\text{potência} - \text{PC})$$

$$\text{Equação 2: trabalho} = \text{CTA} + (\text{PC} \times \text{tempo})$$

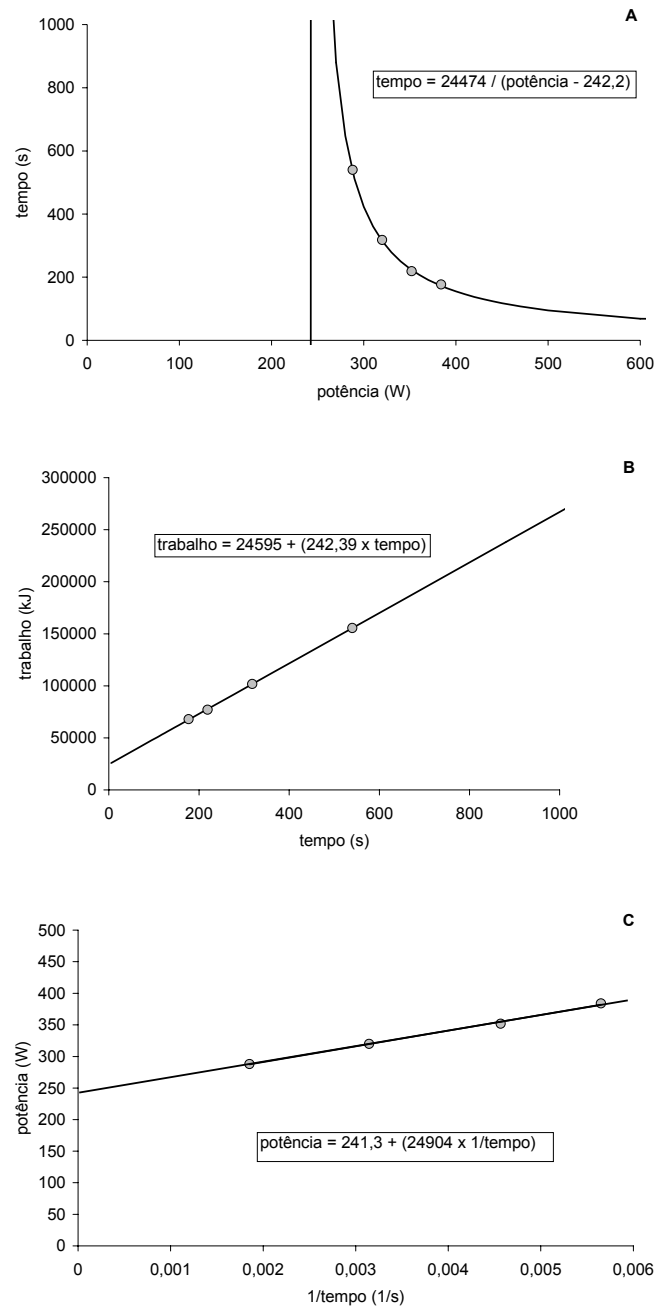
$$\text{Equação 3: potência} = \text{PC} + (\text{CTA} \times 1/\text{tempo})$$

Sendo: tempo em segundos (s), CTA em *kilojoules* (kJ), potência e PC em (W).

**Quadro 1** – Descrição das equações propostas para o modelo de PC de dois parâmetros.

Assim, as representações gráficas das equações 1, 2 e 3 são demonstradas na figura 1, assumindo a realização de 4 testes exaustivos contínuos de diferentes intensidades.

Embora o uso do modelo de PC seja amplamente aceito pela literatura, há ainda uma ausência de um padrão metodológico a ser seguido durante a aplicação dos testes preditivos. Contudo, devem-se observar alguns aspectos determinantes, no que diz respeito ao número, duração dos testes preditivos exaustivos e intervalo entre as diferentes cargas. Testes que induzam a exaustão dentro da amplitude de tempo de 1-10 min<sup>14,37-39</sup> ou até 15 min<sup>22</sup> são recomendados, pois apresentam melhor ajuste para prever a PC e CTA pelo modelo de dois parâmetros previstos pelas equações 1, 2 e 3<sup>22</sup>. Além disso, para se obter estimativas que resultem em um menor erro preditivo da carga correspondente a PC e a CTA, recomendam-se ao menos duas cargas preditivas exaustivas, separadas aproximadamente por 5 min em suas durações, utilizando as equações lineares<sup>22</sup>. Entretanto, de 2 a 5 testes com cargas preditivas são recomendados para determinação dos parâmetros PC e CTA, sobretudo quando se adota a equação não linear. Vale ressaltar que, ao se utilizar somente duas cargas, o erro padrão de estimativa seria igual à zero, pois na haveria pontos que estivessem fora da reta de regressão linear, mas a aplicação de 4 ou 5 cargas distintas permite a identificação mais precisa dos respectivos parâmetros<sup>14</sup>. Além disso, fatores como aprendizagem e motivação em realizar testes máximos exaustivos podem influenciar na determinação dos parâmetros. Neste sentido, o uso de testes ou sessões de familiarização é de extrema importância<sup>22</sup>.



**Figura 1** – Representação de resultados obtidos por um sujeito em 4 testes exaustivos para estimativa da PC e CTA em cicloergômetro, utilizando as equações de predição. Modelo hiperbólico (potência-tempo) demonstrado pela equação 1 (painel A: PC = 242,2 W; CTA = 24474 kJ), linear (trabalho-tempo) pela equação 2 (painel B: PC = 242,39 W; CTA = 24595 kJ) e linear (potência-1/tempo) pela equação 3 (painel C: PC = 241,3 W; CTA = 24904 kJ).

Com o avançar dos estudos, alguns autores propuseram correções ao modelo de PC de dois parâmetros na tentativa de melhor equacionar a relação entre a carga de trabalho e  $T_{lim}$  desempenhado. As principais questões, sob o ponto de vista teórico, foram sobre incorreções do modelo de dois parâmetros. O ajuste fisiológico da cinética de  $VO_2$ <sup>40</sup>, a inclusão de um terceiro parâmetro (máxima potência instantânea ( $P_{max}$ )) sobre o eixo da potência assumindo o tempo igual zero<sup>41</sup>, ou a adoção de um ajuste exponencial com a inserção da  $P_{max}$  sobre a relação intensidade-tempo<sup>42</sup> são exemplos de tentativas de correção do modelo tradicional de dois parâmetros. No entanto, deve-se considerar que as inserções ao modelo nem sempre se mostraram válidas<sup>24</sup>.

A despeito dos ajustes matemáticos sobre a relação intensidade-tempo propostos por Wilkie<sup>40</sup>, Morton<sup>41</sup> e Hopkins *et al.*<sup>42</sup>, o modelo de PC de dois parâmetros tem demonstrado ser um indicador da transição entre os domínios de esforço intenso e severo<sup>14,43</sup>. Além disso, a PC tem se mostrado semelhante a outros índices de aptidão aeróbia quanto ao seu significado fisiológico, sendo similar em relação à intensidade em comparação com limiares de transição metabólica no cicloergômetro<sup>2</sup>, extensão de joelho<sup>17</sup> e na natação<sup>44</sup>. E da mesma forma, a PC se associa ao máximo estado estável de  $VO_2$ <sup>16</sup> e de lactato<sup>14</sup>, e também com o desempenho aeróbio em canoístas<sup>4</sup> e em nadadores adolescentes<sup>45</sup>. No entanto, a validade da PC tem sido alvo de controvérsias, pois alguns estudos mostraram baixa concordância desta com esses mesmos indicadores<sup>46,47,20</sup>.

Por sua vez, a CTA mostra-se similar ao máximo déficit acumulado oxigênio (MAOD)<sup>23,24</sup>. Além disso, a CTA responde de forma positiva ao treinamento intervalado exaustivo<sup>48</sup> e ao treinamento de força<sup>49</sup>. Além disso, apresenta sensibilidade à suplementação dietética durante cinco dias de 4x5g/dia de creatina<sup>50</sup> e à depleção de glicogênio em sessão de longa duração (75 min) de exercício a 60% do  $VO_2max$ , seguidos de séries intermitentes de 1 min a 115% do  $VO_2max$  com 1 min de pausa<sup>51</sup>. Esses resultados dão suporte ao uso da CTA como uma medida de capacidade anaeróbia.

Evidências sobre a validade conceitual da PC e CTA têm sido investigadas por meio de outros modelos experimentais interessantes, que põem à prova o funcionamento do modelo proposto por Monod & Scherrer<sup>1</sup>. Logo, levando em consideração que a PC é a máxima intensidade mantida a partir de fontes

aeróbias, qualquer intensidade com carga constante realizada abaixo ou na PC preservaria a CTA. Por outro lado, quando a intensidade do exercício é realizada acima da PC até atingir o Tlim, a utilização da CTA ocorre independentemente da faixa em que é realizado (100-134 % da PC), gerando também respostas fisiológicas finais semelhantes<sup>52</sup>. Além disso, em uma série intermitente (1º tiro: 150 s acima da PC; recuperação ativa na PC durante 300 s; 2º tiro: acima da PC até exaustão), Nakamura *et al.*<sup>53</sup> verificaram que a CTA não é repostada quando a intensidade de recuperação ativa é realizada na PC. Esse achado também corrobora a hipótese testada anteriormente por Coats *et al.*<sup>54</sup>. Os autores observaram que após uma intensidade de exercício acima da PC com depleção prévia da CTA (~6 min de Tlim), a continuidade em exercício por um tempo prolongado foi possibilitada somente quando a intensidade era mantida abaixo da PCc (90% da PCc = ~785 s; 80% do limiar de lactato = 1200 s para todos os sujeitos avaliados). Neste experimento, pôde-se observar ainda que dois indivíduos conseguiram permanecer por 1200 s na intensidade de 90% da PC sem atingir o VO<sub>2</sub>max<sup>54</sup>. Essa observação é importante, pois atletas freqüentemente utilizam estratégias de  *pacing*, com variações na velocidade de corrida em provas de média e longa duração, dividindo a prova em fases de acordo com o seu trecho (inicial, intermediário e final). Isso pode ser um fator decisivo no desempenho da intensidade que se emprega em cada um desses trechos, sobretudo na elaboração da estratégia na porção inicial de uma prova de *endurance*<sup>55</sup>.

Por fim, sob condições em que se reduz a oferta de oxigênio (hipóxia), a PCc se mostra reduzida sem alteração dos valores de CTA. Essa é uma forte evidência da dependência da via aeróbia na determinação da PC<sup>2</sup>. Além disso, confirma a natureza anaeróbia da CTA.

## 2.2 RESPOSTAS FISIOLÓGICAS NA POTÊNCIA CRÍTICA DE ESFORÇOS CONTÍNUOS

Ao assumir que a intensidade da PC seria semelhante ao máximo estado estável de lactato e de VO<sub>2</sub><sup>14,16</sup>, espera-se que algumas respostas fisiológicas e metabólicas se estabilizem, a despeito do exercício na intensidade correspondente a PC levar à exaustão entre 20 e 30 min<sup>47,56,57</sup>.

No entanto, resultados diferentes dos esperados têm sido observados. Jenkins e Quingley<sup>57</sup> reportaram valores de [La] próximos a 9 mM nos últimos 20 min na PC após realizarem treinamento aeróbio em cicloergômetro. Resultado semelhante foi verificado por Overend *et al.*<sup>58</sup>, no qual as [La] foram em torno de 8 mM para jovens e 6,5 mM em idosos depois de 24 min de exercício na PC. Semelhante aos estudos anteriores, McLellan e Cheung<sup>47</sup> observaram que as respostas de pH e de pressão parcial de dióxido de carbono ( $p\text{CO}_2$ ) foram menores na PC quando comparadas com as obtidas na intensidade do limiar anaeróbio individual (IAT), e as [La] foram em média maiores na PC (6,8 mM) do que no exercício no IAT (4,4 mM). Além disso, Brickley *et al.*<sup>46</sup> encontraram valores de [La] de  $7,3 \pm 1,6$  mM no Tlim em exercício na PC. Estes achados demonstram uma alta produção de [La] nas intensidades correspondentes a PC.

Contudo, na natação, Wakayoshi *et al.*<sup>5</sup> demonstraram uma estabilização da [La] próxima a 3,2 mM na intensidade da VC, e uma tendência de queda a 98% da VC. Porém, quando o exercício era realizado em uma velocidade superior à VC (102% da VC), as [La] aumentaram progressivamente chegando a aproximadamente 4 mM. Embora, a intensidade a 102% da VC não tenha gerado valores estáveis de [La], os valores finais de 4 mM são considerados dentro dos limites do limiar anaeróbio apontado por McLellan e Cheung<sup>47</sup>. Vale ressaltar também, que as pausas para as coletas sanguíneas, durante 4 séries de 400 m, podem ter influenciado para que as [La] não gerassem valores próximos aos encontrados em cicloergômetro<sup>57,58</sup>. Simões *et al.*<sup>59</sup> verificaram que em corredores a intensidade da VC não se diferiu da estimada pela técnica de lactato mínimo ( $[\text{Lac}_{\text{min}}]$ ), além de uma alta correlação entre as respectivas intensidades e entre o desempenho em corrida de 10 km. Adicionalmente, houve um padrão de estabilidade fisiológica para as [La] durante 30-min na intensidade de  $[\text{Lac}_{\text{min}}]$ , chegando a 5,5 mM<sup>59</sup>.

Ao verificar as respostas fisiológicas de  $\text{VO}_2$  e FC durante exercício exaustivo realizado na PC em cicloergômetro, Brickley *et al.*<sup>46</sup> verificaram que o percentual de  $\text{VO}_2$  foi próximo de 91% em relação ao  $\text{VO}_{2\text{max}}$  e para FC de 97% em relação a  $\text{FC}_{\text{max}}$  do teste incremental em sujeitos treinados. Os valores absolutos foram aproximadamente de 410 W para máxima potência aeróbia (MPA),  $4,6 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  para  $\text{VO}_{2\text{max}}$  e 190 bpm para  $\text{FC}_{\text{max}}$ <sup>46</sup>. Por sua vez, o Tlim na PC foi em média

igual a 29 min e 34 s (mínimo de 20 min e 1 s; máximo de 40 min e 37 s). Os autores ainda encontram moderada correlação entre o  $T_{lim}$  na PC e o  $VO_2max$  ( $r = 0,78$ ). Além disso, a taxa de aumento da  $[La]$ , analisada entre o 15° e 20° min durante a PC, foi de  $0,094 \text{ mM}\cdot\text{min}^{-1}$ . Neste sentido, os autores sugerem pequena contribuição anaeróbia durante este período durante exercício realizado na PC<sup>46</sup>, porém não sustentável para manutenção de um estado estável fisiológico, ou de equilíbrio.

Ao analisar alguns marcadores metabólicos no músculo em intensidades acima e abaixo ( $\pm 10 \%$ ) da PC, Jones *et al.*<sup>60</sup> encontraram que houve estabilidade após 3 min na intensidade abaixo da PC até os 20 min para creatina fosfato (PCr), fosfato inorgânico (Pi) e pH. Já na intensidade acima da PC ( $T_{lim} = 14,7 \text{ min}$ ), houve uma queda significativa das variáveis analisadas (PCr e pH) até o término do exercício. Os autores concluem que a intensidade da PC representaria a maior carga de trabalho constante sustentável sem que haja uma depleção nos grupos fosfatos musculares e rápido acúmulo nos metabólitos (íons  $H^+$  e Pi), os quais respondem à ativação do metabolismo anaeróbio durante o exercício. Tal resultado foi corroborado por Brickley *et al.*<sup>61</sup>.

A comparação entre alguns resultados conflitantes têm se tornado difícil devido a não-padronização na determinação da PC por meio da duração dos testes preditivos<sup>22</sup>. Entretanto, os estudos mais recentes têm evidenciado resultados favoráveis à validade do conceito teórico do modelo de PC de dois parâmetros<sup>4,5,14,16,24,60,53</sup>.

### **2.3 CONSIDERAÇÕES FISIOLÓGICAS EM ESFORÇOS INTERMITENTES**

O treinamento com exercícios intervalados é aplicado em modalidades esportivas, tanto de natureza contínua, como por exemplo, as corridas rasas de 100 metros a maratona (42,195 km) no atletismo, quanto em modalidades de característica intermitente, como futebol, futsal, handebol, basquetebol, rúgbi, etc. Contudo, os objetivos na aplicação de séries intervaladas podem ser diferentes, dependendo dos principais fatores determinantes em cada modalidade esportiva<sup>62</sup>.

Em provas contínuas de longa duração, um dos fatores determinantes para o desempenho seria o  $VO_2\max$ <sup>63</sup>. A aplicação de exercícios intermitentes durante sessões de treinamento têm se mostrado vantajosa quanto aos benefícios adquiridos na potência aeróbia e anaeróbia, em relação ao treinamento em esforços contínuos, sobretudo na melhora do  $VO_2\max$ <sup>25,64</sup>.

Além disso, esforços intermitentes levam a maiores valores nas respostas fisiológicas ao se comparar com exercício físico contínuo com o mesmo tempo total de esforço final<sup>65</sup>. Desta forma, Åstrand *et al.*<sup>65</sup> mostraram que o conteúdo de mioglobina no início do exercício atua como reserva de oxigênio, que auxilia na ressíntese das fontes energéticas de PCr utilizada no trabalho inicial das séries repetidas. Neste sentido, o encurtamento das pausas causa mudanças nas respostas de PSE, FC, [La] e desempenho<sup>66</sup>, além de apresentarem um atraso na recuperação dos níveis basais das respostas fisiológicas após o exercício<sup>67</sup>.

Acredita-se que uma das vantagens em séries intermitentes em relação ao exercício contínuo seja nas respostas fisiológicas agudas relacionadas ao tempo de manutenção do  $VO_2\max$ , ou em faixas acima de 90% do  $VO_2\max$ , em sessões de exercício intermitente<sup>27</sup>, além da otimização da capacidade anaeróbia<sup>25</sup>. O formato das séries intermitentes, variações na razão de esforço e pausa e/ou na forma com que se realizam as pausas (recuperação ativa ou passiva) podem influenciar no tempo de tolerância no  $VO_2\max$  em séries de exercícios intermitentes<sup>26-30</sup>. Logo, conhecer as respostas nas diferentes formas de se modular o exercício intermitente é importante, pois a realização de sessões que visem a aumentar o tempo no ou próximo do  $VO_2\max$  parece influenciar de forma positiva o estímulo de treinamento<sup>63</sup> para melhora do desempenho.

#### **2.4 ADAPTAÇÃO DE ESFORÇOS INTERMITENTES A PARTIR DO MODELO DE POTÊNCIA CRÍTICA EM ESFORÇOS CONTÍNUOS**

Assumindo que algumas vantagens podem ser adquiridas com sessões de exercício intermitente, diferentes protocolos de treinamento podem ser desenvolvidos a partir da intensidade da PC ou VC, em modalidades como a corrida,

natação e canoagem, obtidas pela sua aplicação original em esforços contínuos<sup>53,61,68,69</sup>.

Neste sentido, Billat *et al.*,<sup>68</sup> compararam o tempo no VO<sub>2</sub>max em três diferentes protocolos de exercício intermitente com uma razão de esforço:pausa ativa (15s:15s) que variaram em torno da VC (~85% da velocidade associada ao VO<sub>2</sub>max (vVO<sub>2</sub>max)). Os autores verificaram que os protocolos que tinham uma amplitude de 11% entre as intensidades de esforço e pausa ativa (90-80% da vVO<sub>2</sub>max) e 35% (100-70% vVO<sub>2</sub>max) próximos a VC tiveram um maior tempo de tolerância no VO<sub>2</sub>max (~14-min), quando comparadas ao protocolo de 59% (110-60% da vVO<sub>2</sub>max) em corredores. Assim, a utilização da intensidade da VC a partir de esforços contínuos para prescrever sessões de treinamento intervalados é válida na tentativa de aumentar o tempo de manutenção em exercício no VO<sub>2</sub>max, sobretudo com uma amplitude de 11% e 35% entre os regimes de esforço:pausa.

Brickley *et al.*<sup>61</sup> compararam alterações metabólicas no músculo sobre o glicogênio, adenosina trifosfato (ATP), fosfocreatina (PCr), creatina (Cr) e pH nas situações pré, durante e após exercício contínuo a 90% da PCc e em exercício intermitente a 158%, alternando 30s de esforço por 2 min de pausa ativa a 73% da PCc. Não houve diferença entre momentos estudados nas variáveis metabólicas analisadas entre exercício contínuo e intermitente durante 30 minutos. Houve somente diferença quando se confrontou os momentos pré, durante e após ambos os protocolos de esforço para as variáveis glicogênio, Cr, lactato e pH. O protocolo intermitente não causou grande sobrecarga anaeróbia para os sujeitos estudados.

Contudo, ao analisar diferentes tempos entre a razão de esforço e pausa (30s:30s *versus* 60s:60s), mas mantendo-a de forma invariável (1:1) com as intensidades acima de 70% da PCc, Nakamura *et al.*<sup>69</sup> verificaram uma maior sobrecarga anaeróbia durante a execução do protocolo intermitente de 60s:60s. Assim, as durações dos esforços intermitentes são de grande importância no que diz respeito à sobrecarga imposta, além da influência da taxa de reposição da CTA nas respectivas pausas.

Adicionalmente, considerando que PCc seria a maior intensidade em que não haveria depleção das fontes anaeróbias, Nakamura *et al.*,<sup>53</sup> testaram a validade do modelo de PCc ao utilizar um regime de esforço em uma carga acima da PC por 150s, uma recuperação ativa na PCc por 150s, seguida da mesma carga

acima da PCc até a exaustão. Os autores confirmaram que a CTA determinada no protocolo intermitente seria a mesma do exercício realizado de forma contínua até a exaustão. Essa informação é de suma importância, pois a determinação das séries intermitentes a partir de uma intensidade obtida por meio da PCc, pode refletir em uma maior manutenção de esforço total, se a carga e/ou intensidade de recuperação ativa estiver abaixo da intensidade correspondente à PCc.

## 2.5 APLICAÇÃO DO MODELO DE POTÊNCIA CRÍTICA EM ESFORÇOS INTERMITENTES

Quando o exercício é realizado de forma intermitente, a capacidade de reposição da capacidade de trabalho anaeróbia (CTA), algumas respostas fisiológicas (ex., FC,  $VO_2$  e as [La]) ou a capacidade de manutenção em séries intermitentes podem variar entre as diferentes formas de manipulação das cargas de esforço e pausas. Assim, alguns autores têm realizado testes preditivos intermitentes, determinando assim uma potência crítica intermitente (PCi) ou velocidade crítica intermitente (VCi), assumindo as equações que determinam a potência e velocidade crítica em esforços contínuos (PCc e VCc, respectivamente)<sup>32-36</sup>.

Desta forma, Kachouri *et al.*<sup>32</sup> realizaram testes preditivos contínuos e intermitentes a 95 e 105% da  $vVO_{2max}$  em corrida. Nas corridas intermitentes, a razão de esforço e pausa foi de 1:1 com a metade do Tlim nos respectivos testes preditivos contínuos. Observou-se que a VCc a partir de esforços contínuos não diferiu da VCi, porém com maiores valores de capacidade de distância anaeróbia (CDA) em corrida obtida nos testes intermitentes (CDAi). Contudo, a taxa de reposição da CDAi pode ter sido influenciada pelas pausas, pois não houve um padrão fixo absoluto da pausa para todos os sujeitos nos testes intermitentes (intensidade livremente escolhida).

Assim, igualando a razão e o padrão absoluto entre os regimes de esforço e pausa (15 s:15 s), Dupont *et al.*<sup>33</sup> realizaram corridas exaustivas intermitentes a 110, 120, 130 e 140% da  $vVO_{2max}$ , seguidas de pausas passivas. Além da VCi não diferir da velocidade associada ao  $VO_{2max}$  ( $vVO_{2max}$ ), foi

observado um maior tempo de manutenção do  $VO_2\max$  no exercício intermitente a 120% da  $vVO_2\max$ , e acima de 90% do  $VO_2\max$  nas intensidades a 110 e 120%  $vVO_2\max$ , não havendo diferença entre as intensidades em questão. Vale ressaltar que os autores assumem metodologicamente a somatória somente entre os tempos durante o regime de esforço, desconsiderando a duração das pausas nos testes preditivos intermitentes. Este fator, por sua vez, explica em parte a diferença entre a VC em esforços contínuos da VCI. Ainda assim, os respectivos parâmetros (VCc e VCI) são altamente correlacionadas entre si, além de serem semelhantes os valores de CDAi e CDAC<sup>34,35</sup>.

Considerando a necessidade de determinar o significado fisiológico do modelo de PCi, Okuno<sup>35</sup> verificou que a intensidade do máximo estado estável de lactato em exercício intermitente (MEELi) não diferiu da PCi. Além disso, eles foram altamente correlacionados ( $r = 0,88$ ). Durante os testes nas intensidades de PCi e MEELi durante 30 min, as variáveis fisiológicas FC e  $VO_2$  se mostraram semelhantes, com exceções da [La] (a partir do 20° min foram diferentes;  $P < 0,05$ ) e percepção subjetiva de esforço (a partir do 25° min foram diferentes;  $P < 0,05$ ). Além disso, observou-se diferença entre a carga estimada da PCc e a PCi determinadas pela equação de Monod e Scherrer<sup>1</sup>.

A adaptação do modelo de PC também ocorre em exercícios intermitentes acíclicos. Zagatto *et al.*<sup>70</sup> utilizaram exercícios com diferentes frequências de disparos de bolas.min<sup>-1</sup>, executados na modalidade de tênis de mesa, até atingirem os respectivos Tlim. Desta forma, uma frequência crítica ( $f_{crit}$ ) de rebatidas foi encontrada pela relação entre a frequência de disparos com o inverso do tempo (equação 3). Além disso, Zagatto *et al.*<sup>70</sup> reportaram não haver diferença no Tlim a 150% da  $f_{crit}$ , quando comparado ao Tlim acumulado em outro teste de exercício a 150% da  $f_{crit}$  com duração no 1° tiro de metade ( $\frac{1}{2}$ ) do Tlim a 150% da  $f_{crit}$ , seguido de uma pausa de 3 minutos na intensidade da  $f_{crit}$ , e o 2° tiro a 150% da  $f_{crit}$  até a exaustão. Este achado indica que a CTA não é repostada durante o período de recuperação ativa realizado na  $f_{crit}$ . Por sua vez, a CTA ( $99,5 \pm 29,1$  bolas) neste tipo de exercício parece não se correlacionar com o desempenho realizado no teste de Wingate de pernas<sup>71</sup>. Vale ressaltar que a utilização do teste de Wingate não se assemelha ao padrão de movimento executado, tão pouco ao grupo muscular envolvido e o tipo de tarefa exigida ao rebater as bolas no tênis de

mesa. Logo, era de se esperar que a CTA estimada não fosse correlacionada com o desempenho no teste de Wingate de pernas. Assim, o modelo teórico de PC parece ser válido em exercícios intermitentes acíclicos no tênis de mesa somente para a  $f_{crit}^{70}$ , mas não para a CTA, ainda.

Em corridas intermitentes, a alteração da duração absoluta dos esforços e pausas dos testes preditivos intermitentes (15s:15s *versus* 30s:30s) não acarretou diferenças entre as VCI, porém observou-se menor CDAi no protocolo de 30s:30s<sup>36</sup>. Os autores justificam esse achado pela influência do fator protocolo dependente na determinação da CDAi, pois a amplitude da duração das séries intermitentes e o Tlim exercem uma maior influência na determinação da CDAi do que a VCI. Além disso, uma maior sobrecarga anaeróbia pela concentração de lactato no protocolo com 30s:30s em relação ao 15s:15s corrobora os achados de Nakamura *et al.*<sup>69</sup>. Neste sentido, esforços intermitentes em cicloergômetro foram aplicados durante a relação de esforço e pausa, sendo de 1:1, mas com o mesmo trabalho total realizado em um intensidade acima da PCc em 70% em 10 esforços de 30s:30s e 5 esforços de 60s:60s realizados de forma balanceada. Após ambos os esforços intermitentes, os indivíduos foram até a exaustão na intensidade correspondente ao tempo próximo a 300s realizados durante os testes preditivos para avaliar a CTA remanescente entre os protocolos 30s:30 s *versus* 60s:60s. Desta forma, Nakamura *et al.*<sup>69</sup> verificaram que há uma menor será a capacidade de reposição da CTA nas pausas em nos regimes de esforços a 60s:60s provavelmente devido a uma maior solicitação anaeróbia láctica comprovadas pelas concentrações de lactato e por uma maior CTA remanescente nos esforços realizados a 30 s: 30 s<sup>69</sup>. Assim, a influência na determinação da CDAi também pode ser determinada pela exigência dos sistemas energéticos requeridos, bem como pela solicitação fisiológica requerida nos esforços intermitentes.

Assumindo a premissa da necessidade de adequar uma equação específica para exercícios intermitentes, Morton e Billat<sup>31</sup> propuseram um novo modelo de PCi. Os autores ajustaram para esse modelo a possibilidade da inserção da intensidade e do tempo aplicados nos esforços e nas pausas, sendo que teoricamente a recuperação deveria ser abaixo da PCc para promover a reposição da CTA nos exercícios intermitentes, diferentemente do realizado por Dupont *et al.*<sup>33</sup>. Embora a proposta tenha se mostrado inovadora e interessante, os resultados

aplicados não sustentam sua validade. A  $V_{Ci}$  ( $3,3 \pm 0,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) foi menor ao se comparar com a intensidade da  $V_{Cc}$  ( $4,0 \pm 0,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Logo, qual seria a vantagem em realizar o exercício na  $V_{Ci}$ , se a mesma se mostra inferior a  $V_{Cc}$ ? Além disso, o uso do modelo<sup>31</sup> não determina de forma acurada o  $T_{lim}$  predito pela equação em comparação ao  $T_{lim}$  alcançado em corrida intermitente na  $vVO_{2max}$  e a intensidade de limiar de lactato como a intensidade de recuperação, que por sua vez se mostra abaixo da  $V_{Cc}$ , e também não foi observada uma boa relação com a taxa de depleção anaeróbia em exercícios intermitentes<sup>72</sup>. Neste sentido, a causa da exaustão não é completamente explicada pelo modelo proposto por Morton & Billat<sup>31</sup>, o que causa certa intriga, por parte dos pesquisadores em esclarecer os fatores limitantes à exaustão em esforços intermitentes, sobretudo aos aspectos bioenergéticos e à sua demanda fisiológica.

Assim, Dupont *et al.*<sup>33</sup> ao excluir o tempo despendido durante as pausas, observaram valores maiores para  $PC_i$  em comparação a  $PC_c$ , além de uma ótima relação linear entre as 4 cargas preditivas intermitentes com os seus respectivos  $T_{lim}$  ( $0,99 \leq R^2 \leq 1$ ;  $P < 0,05$ ). Os autores também verificaram que a  $PC_i$  correspondeu a 104% da  $vVO_{2max}$ . Desta forma, os autores hipotetizaram que o exercício na  $PC_i$  poderia ser tolerado por um longo período de tempo, como já observado na  $PC_c$ <sup>9</sup>. A  $PC_i$  também foi diferente da intensidade em que o  $VO_{2max}$  foi alcançado em corrida contínua (100% da  $vVO_{2max}$ ,  $T_{lim} = 120 \pm 42 \text{ s}$ ). A hipótese anterior apresenta-se de forma favorável, pois Okuno<sup>35</sup> verificou que na  $PC_i$  pode ser tolerada ao menos por 30 min, embora o autor não tenha verificado a duração  $T_{lim}$  na  $PC_i$ .

Neste sentido, a determinação metodológica da  $PC_i$ , pela proposta de Dupont *et al.*<sup>33</sup> mostra-se mais interessante, devido a maiores elementos favoráveis quanto a sua validade conceitual.

## 3 JUSTIFICATIVA DO ESTUDO

---

---

O uso de sessões de exercício intermitente dentro de uma programação de treinamento tem se mostrado efetivo na melhora de alguns índices determinantes do desempenho atlético em modalidades cíclicas contínuas, como a corrida de média e longa distância<sup>63,73</sup> e ciclismo<sup>9,14,101</sup>. Assim, o conhecimento das respostas fisiológicas em esforços dessa natureza é de extrema importância para a escolha de intensidades mais efetivas de acordo com o objetivo de cada período de treinamento, seja para indivíduos moderadamente ativos ou atletas.

Embora o modelo de PCi tenha sido recentemente proposto<sup>33-36</sup>, sua validade foi pouco explorada até o momento. Além disso, as respostas fisiológicas e perceptuais observadas na PCi, em comparação ao exercício realizado na PCc, ainda não foram verificadas. Maiores valores de respostas fisiológicas são geralmente observadas em exercício realizado de forma intermitente, quando equalizado em relação à carga média do exercício contínuo<sup>74</sup>. Recentemente, Okuno<sup>35</sup> encontrou que [La] e PSE foram maiores na PCi, cuja estimativa foi feita por meio de testes com pausas passivas, em comparação com o exercício realizado na MEELi, mas semelhantes para FC e VO<sub>2</sub>. Porém, o critério para determinação do MEELi foi baseado naquele proposto para esforços contínuos (aumento  $\leq 1$  mM de [La] entre o 10° e 30° min)<sup>75</sup>. Dessa forma, há uma limitação inerente a essa comparação. As pequenas diferenças entre [La] e PSE possivelmente podem ter ocorrido devido a uma maior sobrecarga anaeróbia devido à utilização da pausa passiva, o que facilita a recuperação das reservas anaeróbias, gerando maior carga de trabalho em relação à utilização de pausa ativa<sup>33</sup>.

Assim, a hipótese inicial foi de que o Tlim e as respostas fisiológicas e perceptuais sejam semelhantes durante sessões de exercícios realizados na PCi com pausas ativas a 50% da máxima potência aeróbia (MPA) quando comparado a PCc. A escolha da intensidade da pausa ativa (50% da MPA) foi em função de dois motivos principais: 1°) pelo fato de não permitir que as respostas do VO<sub>2</sub> e FC na PCi apresentem uma queda substancial durante as pausas, permitindo assim maior tempo de manutenção dessas variáveis próximas de seus valores de estado estável, e 2°) por permitir uma recuperação parcial da CTA durante as pausas. Além disso, essa intensidade é comumente adotada em sessões de treinamento intermitente<sup>34</sup>.

# 4 OBJETIVOS

---

---

## 4.1 OBJETIVO GERAL

Comparar as respostas fisiológicas ( $VO_2$ , FC, [La] e PSE) e o Tlim do exercício executado na PCi e PCc, e averiguar se a aplicação de séries intermitentes preditivas com uma razão de esforço e pausa ativa (1:1) a 100% da PCi e a 50% da MPA (30s:30s), se ajustam ao modelo hiperbólico da PC, respectivamente.

## 4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar as respostas fisiológicas nos testes preditivos contínuos e intermitentes em relação aos valores máximos atingidos em teste incremental.
- Correlacionar o Tlim do exercício realizado na PCi com o realizado na PCc.
- Correlacionar PCi e PCc (em Watts) com o  $VO_{2max}$  em  $l \cdot \text{min}^{-1}$  e  $ml \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ .

# 5 MÉTODOS

---

---

## 5.1 SUJEITOS

O cálculo do tamanho da amostra foi obtido a partir do software Morepower<sup>®</sup> 4.9<sup>76</sup>, considerando um poder estatístico de 80% e alfa de 0,05, mediante uma diferença entre as médias de 115,52 W e desvio padrão de 28,27 W pelas estimativas entre a CPc e CPI<sup>35</sup>, chegando a um número amostral de 8 sujeitos.

Assim, foram voluntários deste estudo 10 indivíduos jovens e adultos do gênero masculino, moderadamente ativos e estudantes do curso de educação física da Universidade Católica de Brasília (idade:  $25,5 \pm 4,2$  anos; massa corporal:  $74,1 \pm 8,0$  kg; estatura:  $177,6 \pm 4,9$  cm). Todos os indivíduos foram informados sobre os procedimentos e riscos do estudo e assinaram um termo de consentimento livre esclarecido (anexo 1). Este estudo foi inicialmente aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo seres humanos da Universidade Estadual de Londrina (anexo 2).

Previamente à realização dos procedimentos de testagem, os indivíduos foram orientados a manter o padrão alimentar habitual, não realizar exercícios físicos intensos, não ingerirem bebidas alcoólicas e cafeinadas dentro do intervalo de 24 h prévias aos testes. Além disso, os sujeitos também foram orientados a realizar uma refeição leve ao menos 3 h antes dos testes.

## 5.2 ETAPAS DO ESTUDO

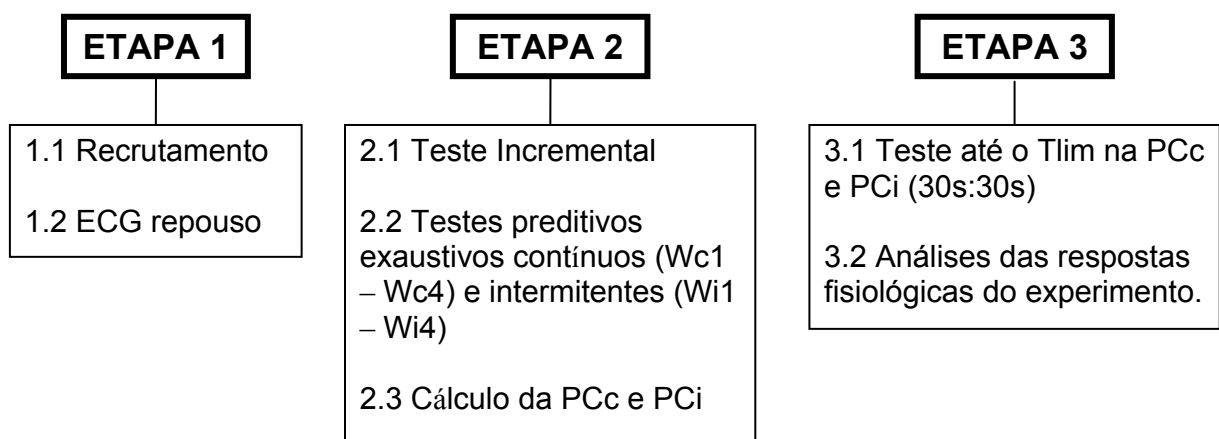
Este estudo foi dividido em 3 etapas, sendo todas elas realizadas em um ambiente com temperatura controlada entre 20 e 24 °C no Laboratório de Avaliação Física e Treinamento (LAFIT/UCB). O trabalho resulta de parceria entre o

programa de Pós-Graduação *stricto sensu* associado em Educação Física da Universidade Estadual de Londrina (UEL)/Universidade Estadual de Maringá (UEM) com o programa de mestrado/doutorado *stricto sensu* da Universidade Católica de Brasília (UCB).

A primeira etapa (etapa 1) foi o recrutamento dos sujeitos que se voluntariaram a participar do estudo. Como critério de inclusão, todos os sujeitos já teriam que ter experiência prévia na realização de pelo menos 1 teste em esforço máximo exaustivo, contínuo e intermitente. Após a seleção dos sujeitos, todos passaram por uma avaliação médica cardiológica, em que foram submetidos a um exame de eletrocardiograma (ECG) de repouso, para identificação de possíveis arritmias e/ou problemas cardíacos que pudessem oferecer algum risco à saúde dos sujeitos. Todos os sujeitos tiveram a aprovação médica para realização do estudo.

A segunda etapa (etapa 2) consistiu na aplicação do teste incremental para determinação do  $VO_2\text{max}$ , frequência cardíaca máxima atingida (FCmax), MPA e concentração máxima de lactato sanguíneo ( $[La_{\text{max}}]$ ). Após este teste, foram realizados testes preditivos exaustivos, contínuos e intermitentes, para cálculo da PCc e PCi (descrição a seguir).

A terceira etapa (etapa 3) foi a realização dos testes nas cargas correspondentes à PCc e PCi até exaustão para verificar o Tlim nas respectivas cargas, além das respostas de  $VO_2$ , FC, [La] e PSE (descrição a seguir).



Acima é apresentada uma representação esquemática do design experimental realizado no presente estudo.

### 5.3 EQUIPAMENTOS E TÉCNICAS DE ANÁLISE

Todos os testes foram realizados em um cicloergômetro eletromagnético (LODE Excalibur, Groningen, Holanda). Para cada sujeito, a altura do selim foi ajustada individualmente para permitir que os joelhos atingissem extensão quase completa durante cada revolução do pedal. Além disso, o apoio das mãos (guidão) foi ajustado de acordo com a preferência do avaliado, mas os respectivos ajustes foram os mesmos em todos os testes subseqüentes para cada avaliado.

A FC em repouso e em exercício foi medida por meio de um cardiofrequencímetro digital da marca POLAR<sup>®</sup> (modelo S810i, Finlândia) com registros batimento-a-batimento dos intervalos R-R do complexo eletrofisiológico QRS. Após a realização dos testes, os dados de FC foram salvos em um computador, sendo posteriormente analisados e filtrados em um software (*Polar Precision Performance 4.0*). Os procedimentos de filtragem da FC foram realizados na ordem máxima de 20 batimentos com a escolha do filtro fraco, sendo que este procedimento de correção não poderia ultrapassar 2% dos intervalos R-R da janela de análise para cada teste realizado. A FC para todos os testes em exercício foi a média de 5 s considerando o tempo em que foi analisado.

As análises de consumo de oxigênio ( $VO_2$ ) e consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2max}$ ) foram realizadas respiração-a-respiração (CORTEX<sup>®</sup> MetaLyzer 3B, Leipzig, Alemanha). O aparelho de análise de gases foi calibrado por um único avaliador experiente a cada dia antes das sessões dos testes e foi feita a partir do ar ambiente e por meio de uma concentração de gás conhecida de  $O_2$  (16%) e  $CO_2$  (5%). O fluxo de ar foi calibrado utilizando uma seringa de três litros.

Amostras sanguíneas foram feitas a partir do lóbulo da orelha com assepsia prévia, sendo coletados 25  $\mu$ l em tubo capilar heparinizado e calibrado para dosagem da [La]. Após cada coleta, a amostra de sangue foi imediatamente transferida para túbulos de polietileno tipo *ependorff* de 1,5 ml, contendo 50  $\mu$ l de fluoreto de sódio (NaF) a 1%, sendo posteriormente armazenados em gelo. As análises das [La] foram realizadas utilizando-se um analisador eletroquímico modelo *Yellow Springs* (YSI 1500 Sport, Ohio, EUA).

A percepção subjetiva de esforço (PSE) foi acessada mediante o uso de uma escala de 15 pontos proposta por Borg<sup>11</sup>. Todos os sujeitos já tinham experiência prévia com o uso da escala de PSE em testes de esforços físicos tanto contínuos quanto intermitentes.

#### 5.4 TESTE INCREMENTAL

O teste incremental do tipo rampa foi realizado com um aquecimento prévio de 3 minutos (min) a 30 Watts (W), a uma cadência de 70 rotações por minuto (RPM), seguido de 3 min de repouso, em que os indivíduos permaneciam sobre o cicloergômetro para análise dos valores pré-teste de  $VO_2$  e FC. Após este período, os sujeitos começaram a pedalar a 70 RPM com uma carga inicial de 30 W, com incrementos de  $10 \text{ W}\cdot\text{min}^{-1}$ , até que atingissem a exaustão voluntária, ou por incapacidade de manter a cadência proposta por uma diferença mínima de 5 RPM por mais do que 5 s.

O  $VO_{2\text{max}}$  foi considerado como a média dos valores dos últimos 30 segundos de esforço. Para confirmar a ocorrência do  $VO_{2\text{max}}$ , deveriam ser observados pelo menos dois dos três critérios a seguir<sup>77</sup>: (1) incidência de um platô no  $VO_2$ ; (2) razão de trocas respiratórias acima de 1,10; e/ou (3) FC maior que 90% do máximo predito para a idade<sup>78</sup>.

A MPA foi considerada a maior potência em Watts (W) do estágio completo previamente à exaustão dos sujeitos.

A coleta sanguínea para determinação da  $[La_{\text{max}}]$  foi realizada no momento em que os sujeitos entraram em exaustão. No mesmo momento, a  $FC_{\text{max}}$  atingida foi a média de 5 s antecedentes ao momento de exaustão após o procedimento de filtragem realizado.

## 5.5 TESTES PREDITIVOS

Posteriormente à realização do teste incremental, os sujeitos foram submetidos a testes preditivos máximos, contínuos e intermitentes, para cálculo dos parâmetros do modelo de potência crítica (descrição a seguir). O aquecimento e o período de repouso subsequente foram realizados da mesma forma ao executado no teste incremental. O tempo limite até exaustão (Tlim) foi registrado no momento em que foi configurada a exaustão para os testes preditivos contínuos. Para os testes preditivos intermitentes, o Tlim foi computado excluindo-se os períodos de recuperação<sup>33,34</sup>. As escolhas das cargas foram feitas a partir do percentual da MPA, sendo que o tempo até a exaustão deveria estar entre 2-15 min<sup>35,53</sup>. Além disso, os sujeitos avaliados não tinham informações sobre a carga aplicada e o tempo no decorrer dos testes. A aplicação, supervisão e os ajustes necessários das cargas foram feitos por dois avaliadores responsáveis.

Testes preditivos contínuos: O percentual das quatro cargas preditivas (Wc1 a Wc4) foi calculado a partir do percentual da MPA. A aplicação das cargas foi feita mediante sorteio, com exceção do primeiro teste, que foi correspondente a 100% da MPA. Assim, as demais intensidades foram determinadas de acordo com o Tlim realizado a 100% da MPA. O percentual das cargas preditivas contínuas foram de  $86 \pm 5\%$  (Wc1),  $95 \pm 5\%$  (Wc2),  $107 \pm 8\%$  (Wc3) e  $121 \pm 6\%$  (Wc4) da MAP.

Testes preditivos intermitentes: Quatro testes intermitentes foram realizados (Wi1 a Wi4) com períodos alternados de esforço e recuperação ativa a 50% da MPA ( $P_{50\%rec}$ ), com duração de 30 s cada. A potência utilizada na recuperação ativa foi escolhida por não permitir que as respostas do  $VO_2$  e FC apresentassem uma queda substancial, permitindo assim maior tempo de manutenção dessas variáveis próximas de seus valores de estado estável, e por permitir uma recuperação parcial da CTA durante as pausas, por ser inferior a PCc (74,1 % da MPA). Com exceção do primeiro teste, que foi aplicado com a carga correspondente a 120% da MPA, as demais intensidades foram designadas em sua ordem por sorteio, calculadas pelo percentual da MPA. O percentual das cargas preditivas intermitentes foi de  $110 \pm 7\%$  (Wi1),  $120 \pm 7\%$  (Wi2),  $132 \pm 8\%$  (Wi3) e  $144 \pm 7\%$  (Wi4) da MAP.

Após o término dos testes preditivos, com as informações das intensidades aplicadas e seus respectivos  $T_{lim}$ , foram então estimadas a potência crítica contínua (PCc) e intermitente (PCi) a partir do modelo matemático hiperbólico (equação 1). Além disso, o modelo fornecia um parâmetro anaeróbio chamado de capacidade de trabalho anaeróbio (CTA), conforme descrito na equação 1:  $T_{lim} = CTA / (potência - PC)$ ; onde  $T_{lim}$  seria o tempo em segundos dos testes preditivos; CTA a capacidade de trabalho anaeróbio; e PC a potência crítica.

## 5.6 TESTES EXAUSTIVOS NA PCc E PCi

A ordem de aplicação dos testes na PCc ou PCi foi designada por sorteio. Os testes realizados na PCi foram compostos por períodos de esforços de 30 s seguidos de 30 s de recuperação ativa ( $P_{50\%rec}$ ).

Para realizar as comparações entre as respostas fisiológicas nas intensidades da PCc e PCi, foram registrados valores médios de FC,  $VO_2$  e [La] nos respectivos momentos (repouso; 2,5 min; 5 min; e a cada 5 min até o 30° min e no momento em que foi configurado o  $T_{lim}$ ), sendo somados os tempos durante os esforços e pausas ativas. O  $T_{lim}$  na PCc e PCi foram determinados pelos mesmos critérios aplicados nos testes preditivos contínuos. A PSE foi reportada pelos sujeitos e registrada a cada mudança no decorrer dos testes na PCc e PCi, até atingir o  $T_{lim}$ . Para cada sujeito a escala de PSE foi apresentada e explicada pelo avaliador, que acompanhou a execução de cada sessão de teste durante a coleta de dados.

## 5.7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

A normalidade dos dados foi analisada por meio do teste de *Kolmogorov-Smirnov* com correção de *Lilliefors*. Os resultados foram apresentados em média e desvio padrão (SD). Teste *t* de Student pareado foi aplicado para comparação das intensidades e  $T_{lim}$  na PCc e PCi, e entre as respostas fisiológicas

de FC,  $VO_2$  e [La] correspondentes ao Tlim para ambas intensidades. O teste de Wilcoxon (Z) foi utilizado para realizar a comparação entre a PSE final na PCc e PCi. ANOVA para medidas repetidas foi aplicada para comparação entre  $VO_2$ , FC e [La] entre os testes preditivos contínuos e intermitentes com os respectivos resultados durante o teste incremental. O teste não-paramétrico de Friedman foi aplicado para PSE final nos testes preditivos contínuos e intermitentes devido a uma distribuição não normal nas cargas Wc1, Wi1 e Wi2. ANOVA *two-way* para medidas repetidas foi utilizado para comparar as respostas fisiológicas para [La],  $VO_2$  e FC nos testes na PCc e PCi nos tempos de análises em repouso, 2,5; 5; 10; 15; 20; 25; 30 min e no Tlim. Para PSE, como não havia medidas de repouso, foram comparadas as respostas em exercício considerando o mesmo tempo de análise nas variáveis fisiológicas. A esfericidade dos dados foi verificada por meio do teste de *Mauchly*, e nas situações nas quais os valores fossem significantes, utilizou-se a correção de *Greenhouse-Geisser*. Para identificação das diferenças foi utilizado o teste *post hoc* de *Scheffé*. A correlação entre o  $VO_{2max}$  e as variáveis de PCc e PCi foi verificada por meio da correlação de *Pearson*, assim como a correlação entre os Tlim nas respectivas intensidades na PCc e PCi. A significância das análises foi assumida quando  $P < 0,05$ . Todas as análises foram realizadas em um pacote computacional estatístico (SPSS versão 13.0 *for Windows*).

## 6 RESULTADOS

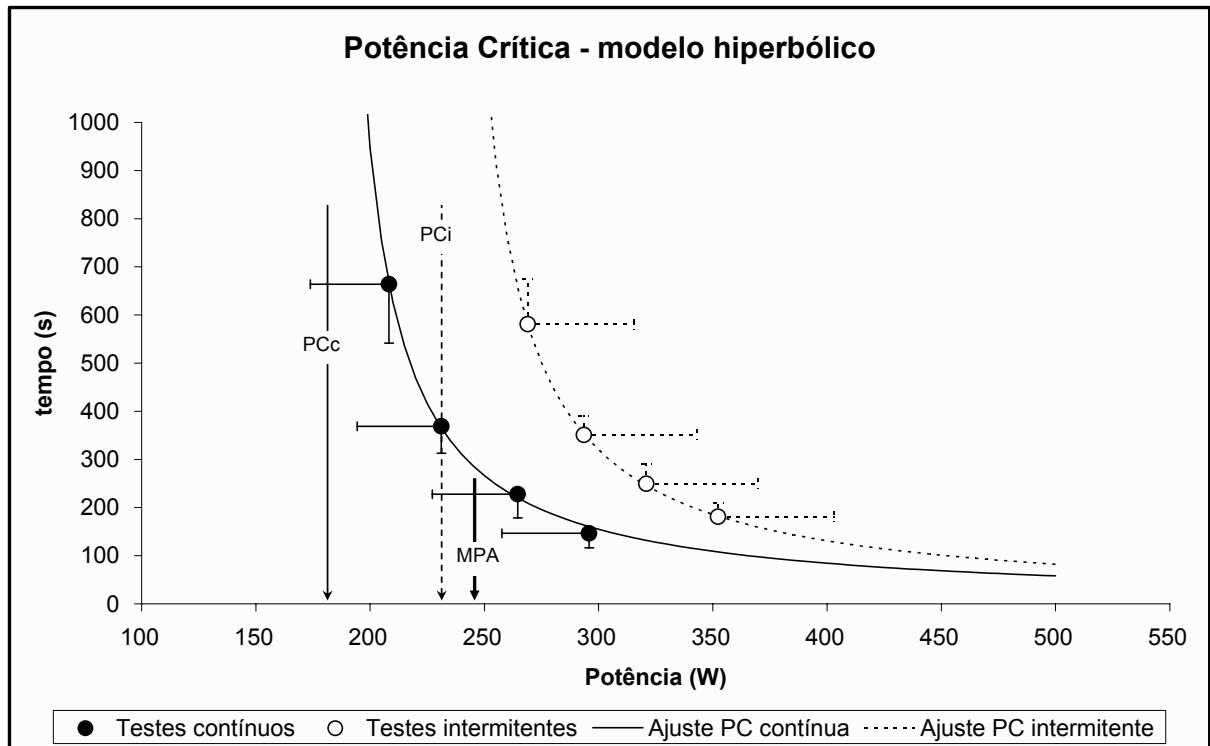
Os resultados do teste incremental de  $VO_{2max}$ ,  $FC_{max}$ ,  $[La_{max}]$ , MPA e  $P_{50\%rec}$  são descritos na tabela 1.

**Tabela 1** – Valores médios  $\pm$  desvio-padrão (DP), mínimo e máximo das variáveis analisadas no teste incremental (n =10).

	Média $\pm$ DP	Mínimo	Máximo
$VO_{2max}$ (l.min <sup>-1</sup> )	3,3 $\pm$ 0,4	2,8	3,9
$VO_{2max}$ (ml.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	47,3 $\pm$ 5,9	39,0	55,5
$FC_{max}$ atingida (bpm)	189,4 $\pm$ 7,8	178	203
$[La_{max}]$ (mM)	9,8 $\pm$ 1,1	8,3	11,7
MPA (W)	258,3 $\pm$ 37,5	195,0	320,0
$P_{50\%rec}$ (W)	129,2 $\pm$ 18,7	98,0	160,0

N = 10

Na figura 2 são apresentadas as curvas de ajuste do modelo hiperbólico com as cargas preditivas de exercício contínuo e intermitente, e seus respectivos  $T_{lim}$ , apresentados em média e desvio-padrão de todos os sujeitos (N = 10) para estimativa da potência crítica pelo modelo hiperbólico de Monod e Scherrer<sup>1</sup>.



**Figura 2** – Médias e desvios-padrão dos tempos e potências obtidos nos testes preditivos contínuos (círculos fechados), intermitentes (círculos abertos) e o ajuste da curva para predição do modelo hiperbólico de potência crítica contínua (PCc – linha contínua;  $R^2 = 0,99 \pm 0,03$ ), intermitente (PCi – linha tracejada;  $R^2 = 0,97 \pm 0,03$ ) e a média da máxima potência aeróbia (MPA).

Na tabela 2 são demonstrados os resultados do desempenho (potência, Tlim e %MPA) nos testes preditivos contínuos e intermitentes. Foram observadas diferenças significativas entre as cargas ( $F = 197,0$ ;  $P < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,96$ ), Tlim ( $F = 87,4$ ;  $P < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,91$ ) e %MPA ( $F = 218,6$ ;  $P < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,96$ ).

**Tabela 2** – Média  $\pm$  desvio-padrão dos valores de potência, Tlim and %MPA obtidos nos testes preditivos contínuos (Wc1 – Wc4) e intermitentes (Wi1 – Wi4).

	Testes preditivos contínuos			
	Wc1	Wc2	Wc3	Wc4
Potência (W)	223,0 $\pm$ 39,1* <sup>§</sup>	245,0 $\pm$ 41,5* <sup>§</sup>	275,8 $\pm$ 41,7* <sup>§</sup>	312,0 $\pm$ 40,0* <sup>§</sup>
Tlim (s)	640,5 $\pm$ 112,7*	377,0 $\pm$ 57,9*	236,7 $\pm$ 46,2*	149,5 $\pm$ 27,0*
% MPA	86,1 $\pm$ 4,6* <sup>§</sup>	94,7 $\pm$ 4,8* <sup>§</sup>	107,0 $\pm$ 8,2* <sup>§</sup>	121,0 $\pm$ 5,7* <sup>§</sup>

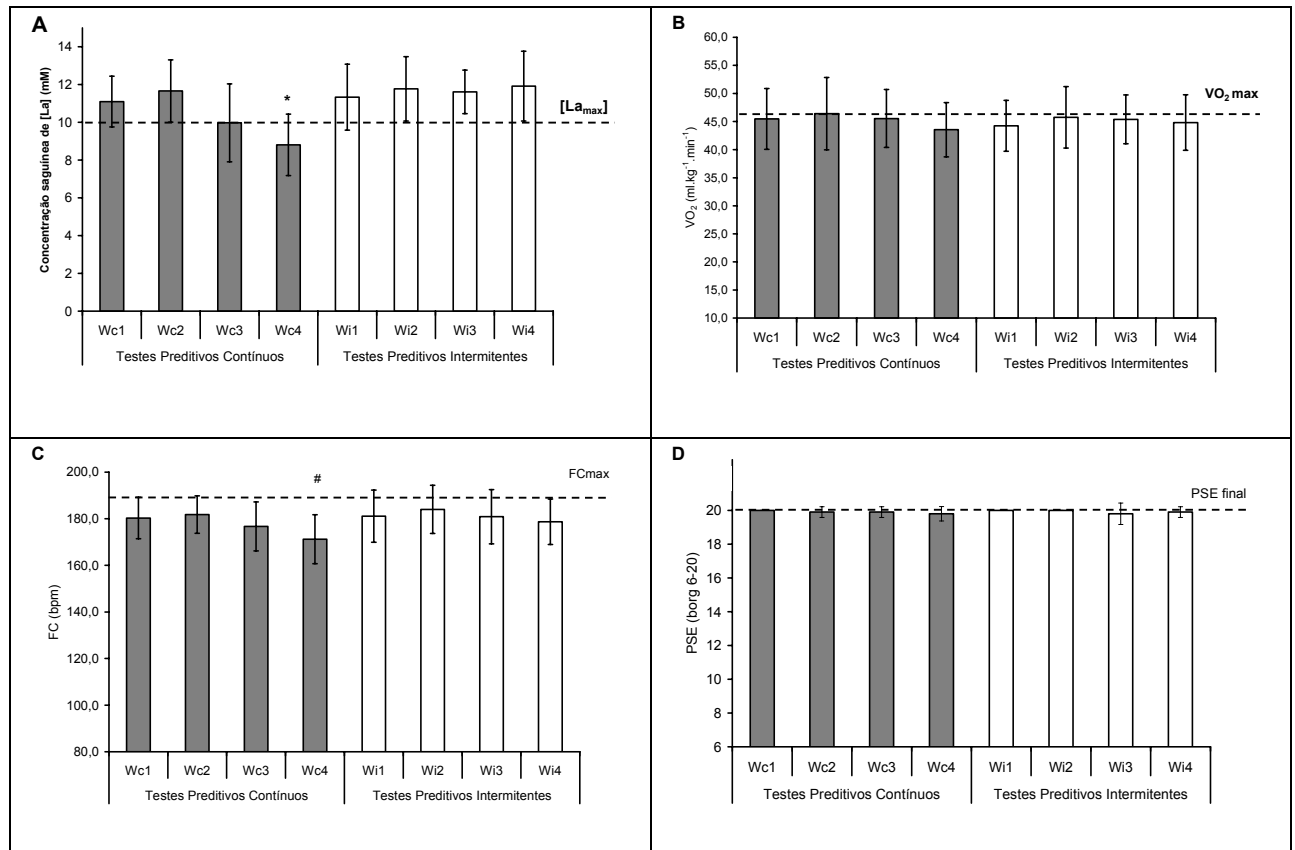
	Testes preditivos intermitentes			
	Wi1	Wi2	Wi3	Wi4
Potência (W)	285,9 $\pm$ 49,5* <sup>§</sup>	310,4 $\pm$ 51,7* <sup>§</sup>	340,8 $\pm$ 51,8* <sup>§</sup>	371,6 $\pm$ 53,5* <sup>§</sup>
Tlim (s)	582,7 $\pm$ 80,4*	356,5 $\pm$ 54,5*	246,0 $\pm$ 37,9*	187,3 $\pm$ 28,9*
% MPA	110,5 $\pm$ 6,8* <sup>§</sup>	120,0 $\pm$ 6,7* <sup>§</sup>	132,0 $\pm$ 7,9* <sup>§</sup>	144,1 $\pm$ 7,0* <sup>§</sup>

\* Diferença significativa entre os testes preditivos contínuos, ( $P < 0,05$ ).

<sup>§</sup> Diferença significativa comparando-se os testes preditivos contínuos e intermitentes entre os seus correspondentes, ( $P < 0,05$ ).

As respostas de  $VO_2$ , [La] e FC finais dos testes preditivos contínuos e intermitentes em comparação ao  $VO_{2max}$ , [La<sub>max</sub>] e FC<sub>max</sub> do teste incremental são demonstrados na figura 3. Não houve diferença estatística entre os resultados dos testes preditivos contínuos e intermitentes em porcentagem dos valores de  $VO_{2max}$ , [La<sub>max</sub>] e FC<sub>max</sub>, demonstrando que a exaustão nos testes preditivos resultou em valores próximos ao máximo atingido no teste incremental.

Contudo, as concentrações sanguíneas de lactato ([La]) dos testes preditivos contínuos e intermitentes foram significativamente maiores quando comparadas ao valor de [La] do teste preditivo contínuo a Wc4 ( $F = 5,54$ ;  $P < 0,05$ ;  $\eta^2 = 0,36$ ). Ao comparar os valores de FC ao final dos testes preditivos contínuos e intermitentes com a FC<sub>max</sub>, foi observado que a FC ( $171,2 \pm 10,5$  bpm) referente ao teste contínuo (Wc4) foi diferente da FC obtida nas cargas Wc1, Wc2 e Wc3 nos testes preditivos contínuos e Wi1, Wi2 e Wi3 para os testes intermitentes ( $F = 9,5$ ;  $P < 0,05$ ;  $\eta^2 = 0,51$ ). A PSE ficou acima de 19 (“muito, muito intenso”<sup>11</sup>) para todos os sujeitos ao final, não havendo diferenças entre os testes preditivos contínuos e intermitentes ( $\chi^2 = 5,4$ ;  $P = 0,61$ ).



\* Diferença estatística entre os demais testes preditivos contínuos e intermitentes ( $P < 0,05$ ).

# Diferença significativa entre os testes preditivos contínuos nas cargas Wc1, Wc2, Wc4, Wi1, Wi2 e Wi3 ( $P < 0,05$ ).

**Figura 3** – [La], VO<sub>2</sub>, FC e PSE ao final dos testes preditivos exaustivos contínuos e intermitentes (painéis A, B, C e D, respectivamente) em contraste com [La<sub>max</sub>], VO<sub>2max</sub>, FC<sub>max</sub> e PSE final do teste incremental (linha tracejada).

Na tabela 3 são apresentadas as comparações dos resultados de desempenho em cicloergômetro, respostas fisiológicas de VO<sub>2</sub>, FC e [La] e perceptuais pela PSE (Borg 6-20) ao final no Tlim entre as sessões de exercício físico realizadas na PCc e PCi. O teste *t* pareado apontou maiores valores na PCi em comparação com a PCc, tanto para a carga (W) realizada quanto para o percentual da MPA atingida no teste incremental (% MPA), ( $P < 0,05$ ). Porém, nas demais variáveis apresentadas na tabela 3, não foram encontradas diferenças estatísticas, o que demonstra similaridade nas respostas fisiológicas e no Tlim entre os testes realizados na PCc e PCi.

Ao comparar os valores preditos para CTAc ( $19207 \pm 3677$  kJ) e CTAi ( $23034 \pm 4806$  kJ), foi encontrada diferença significativa ( $t = 2,64$ ;  $P < 0,03$ ),

além de um baixo coeficiente de correlação ( $r = 0,44$ ;  $P = 0,20$ ) entre os respectivos resultados. A correlação entre CTAc e  $[La_{max}]$  foi baixa ( $r = 0,06$ ,  $P = 0,87$ ), ao passo que entre CTAi e  $[La_{max}]$  foi moderada ( $r = 0,70$ ,  $P < 0,03$ ).

**Tabela 3** – Comparações entre o desempenho em cicloergômetro, respostas fisiológicas (VO<sub>2</sub> final, FC final e [La] final), percepção subjetiva de esforço final (PSE final) e tempo limite até exaustão (Tlim) na potência crítica contínua (PCc) e intermitente (PCi).

	PCc					PCi				
	Média	±	DP	Mínimo	Máximo	Média	±	DP	Mínimo	Máximo
Potência (W)	191,9	±	32,7*	137,0	243,0	245,5	±	47,9*	178,0	317,0
% MPA (W)	74,1	±	3,2*	69,0	78,0	94,6	±	6,7*	83,0	105,0
Tlim (s)	2830,1	±	643,6	1836	3600	2916,0	±	606,6	2130,0	3600,0
[La] final (mM)	7,9	±	2,3	4,3	10,5	7,8	±	1,7	4,3	9,5
VO <sub>2</sub> final (L.min <sup>-1</sup> )	2,6	±	0,2	2,2	2,9	2,6	±	0,2	2,4	3,0
FC final (bpm)	177,3	±	7,3	166,2	183,7	176,1	±	14,3	162,1	195,2
PSE final (Borg 6-20) <sup>#</sup>	18,4	±	2,2	14	20	19,4	±	1,1	17	20

\*Significância estatística entre a PCc com a PCi ( $P < 0,05$ );

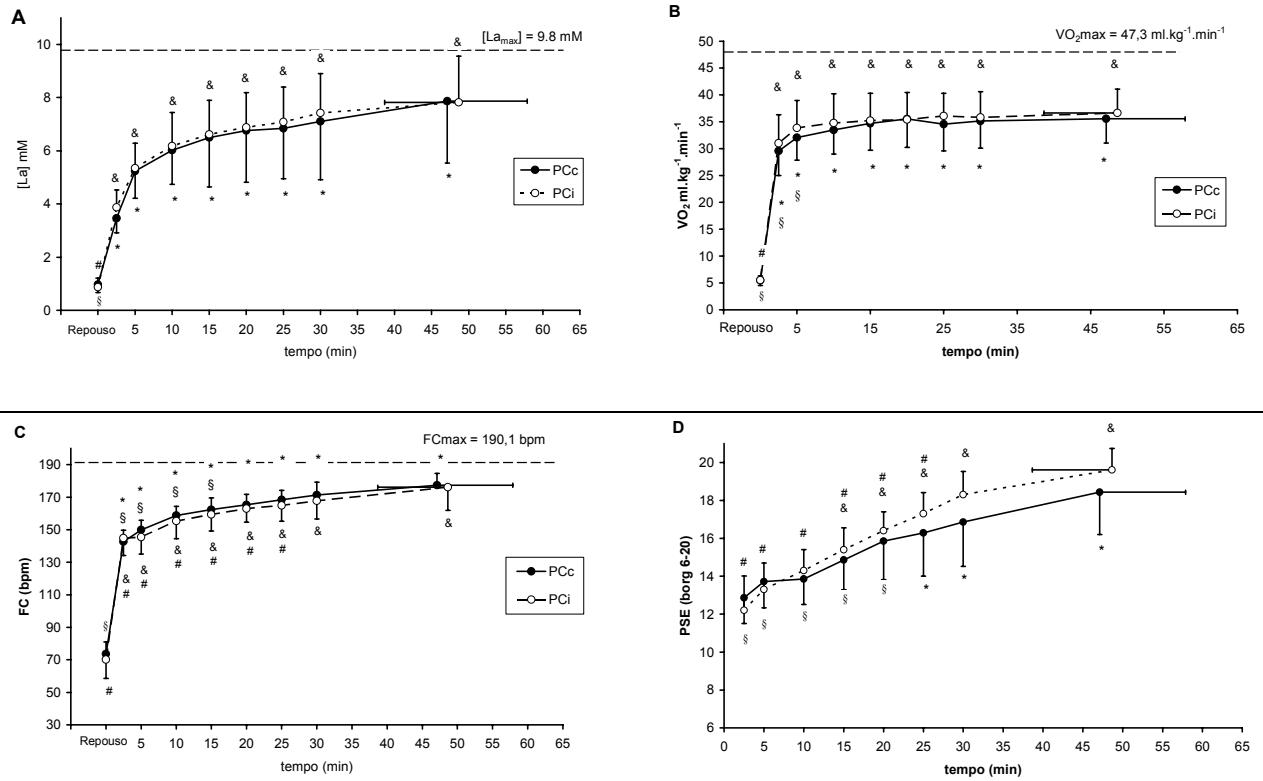
<sup>#</sup> Comparação realizada pelo teste de Wilcoxon ( $Z = -1.63$ ,  $P = 0,10$ )

Altos coeficientes de correlação foram observados entre o  $VO_2\text{max}$  ( $L \cdot \text{min}^{-1}$ ) e as intensidades na PCc e PCi em Watts ( $r = 0,91$  e  $0,90$ ;  $P < 0,001$ ) e entre MPA (W) e PCc e PCi (W) ( $r = 0,98$  e  $0,95$ ;  $P < 0,001$ ), respectivamente. Uma forte correlação foi encontrada entre o Tlim correspondente a PCc e PCi ( $r = 0,80$ ;  $P < 0,001$ ), e entre a PCc com a PCi ( $r = 0,96$ ,  $P < 0,001$ ). No entanto, ao correlacionar o  $VO_2\text{max}$  ( $l \cdot \text{min}^{-1}$ ) com o Tlim na PCc e PCi, foram encontradas correlações negativas não significantes ( $r = -0,50$  e  $-0,52$ ;  $P > 0,05$ ), respectivamente.

A figura 4 apresenta o comportamento sobre o teste incremental para as variáveis [La],  $VO_2$  e FC durante os testes na PCc e PCi, (A, B e C, respectivamente) em relação ao máximo obtido no teste incremental. Os valores de PSE durante o exercício realizado na PCc e PCi são apresentados na figura 4D. Os tempos em que as variáveis foram analisadas em repouso; 2,5; 5; 10; 15; 20; 25; 30 min e no Tlim para [La],  $VO_2$ , e FC. Para PSE, os tempos de análise foram os mesmos, exceto a medida de repouso que não foi considerada. Foram analisados somente os indivíduos que ultrapassaram o tempo de 30 min para o teste na PCc ( $n = 7$ ), sendo os mesmos sujeitos analisados para PCi. Vale lembrar que todos os sujeitos ultrapassaram o limite mínimo para a análise de 30-min na PCi. Em média, os valores percentuais em relação ao alcançado no teste incremental no Tlim para PCc e PCi foram de  $81,8 \pm 28,3$  e  $81,8 \pm 21,6$  para [La],  $82,5 \pm 4,5$  e  $85,2 \pm 5,0$ , para  $VO_2$   $93,3 \pm 2,6$  e  $92,5 \pm 4,8$  para FC, respectivamente. Não houve interação dos testes (PCc e PCi) com os períodos analisados (repouso, 2,5 min até Tlim) para [La] ( $F = 0,03$ ;  $P = 0,86$ ),  $VO_2$  ( $F = 0,73$ ;  $P = 0,52$ ), FC ( $F = 0,82$ ;  $P = 0,46$ ) e PSE ( $F = 1,43$ ;  $P = 0,26$ ). Quando realizadas as comparações entre os tempos de análise (repouso até o Tlim), houve diferença entre todos os momentos em exercício ao comparar com as medidas de repouso ([La] =  $P < 0,001$ ;  $VO_2 = P < 0,001$ ; FC =  $P < 0,001$ ) para PCc e PCi.

As comparações feitas somente com as medidas em exercício, ou seja, excluindo-se a medida de repouso, foram significativamente diferentes para [La] do Tlim os períodos 2,5; 5; 10; 15; 20 e 25 min), ( $P < 0,02$ ), tanto na PCc quanto na PCi. Para o  $VO_2$ , foram diferentes somente os períodos 2,5 e 5 min do Tlim ( $P < 0,01$ ). Para FC e PSE todos os momentos foram diferentes do Tlim ( $P < 0,01$ ), ao considerar o fator tempo.

Quanto ao Tlim em minutos, não houve diferença significativa ( $47,1 \pm 10,8$  e  $48,6 \pm 10,0$  min) para PCc e PCi, respectivamente ( $t = 0,44$ ;  $P = 0,16$ ).



\* Diferença significativa entre os valores de repouso para  $VO_2$ , FC e [La] na PCc, e com o tempo de 2,5 min para PSE dentro da PCc, ( $P < 0.05$ ).

& Diferença significativa entre os valores de repouso para  $VO_2$ , FC e [La] na PCi, e com o tempo de 2,5 min para PSE dentro da PCi, ( $P < 0,05$ ).

§ Diferença significativa entre os valores correspondentes do Tlim para  $VO_2$ , FC e [La], e PSE dentro da PCc, ( $P < 0.05$ ).

# Diferença significativa entre os valores correspondentes do Tlim para  $VO_2$ , FC e [La], e PSE dentro da PCi, ( $P < 0,05$ ).

**Figura 4** – Respostas entre as [La] (A),  $VO_2$  (B), FC (C) e PSE (D) durante as intensidades da PCc e PCi. As linhas tracejadas representam os valores alcançados de [La<sub>max</sub>],  $VO_{2max}$  e FCmax do teste incremental.

# 7 DISCUSSÃO

---

---

Semelhantemente ao encontrado em esforços contínuos<sup>2</sup>, os resultados do presente estudo demonstram haver uma relação hiperbólica com excelente ajuste ( $R^2 = 0,97 \pm 0,03$ ) entre a intensidade e o  $T_{lim}$  em esforços intermitentes, que se utiliza de recuperação a 50% da MPA. A intensidade estimada para  $PC_i$  foi maior do que a  $PC_c$ , no entanto elas se aproximaram quando se calculou a média da potência na  $PC_i$ , considerando a própria  $PC_i$  e a carga de recuperação. Adicionalmente, os resultados de  $T_{lim}$ , bem como as respostas fisiológicas ( $[La]$  final,  $VO_2$  final e FC final) e perceptuais (PSE final) não foram diferentes quando o exercício foi realizado na  $PC_c$  e na  $PC_i$ . Além disso, durante o exercício a resposta das variáveis  $[La]$ ,  $VO_2$ , FC e PSE não foi diferente ao se compararem os momentos analisados, entre os testes na  $PC_c$  e  $PC_i$ .

## 7.1 COMPARAÇÕES ENTRE OS PARÂMETROS ESTIMADOS PARA OS EXERCÍCIOS REALIZADOS DE FORMA CONTÍNUA E INTERMITENTE

Os parâmetros estimados para os exercícios realizados de forma contínua ( $PC_c = 191,9 \pm 32,7$  W e  $CTAc = 19207 \pm 3677$  kJ) foram significativamente menores do que os estimados de forma intermitente ( $PC_i = 245,5 \pm 47,9$  W e  $CTAi = 23034 \pm 4806$  kJ). Resultados semelhantes na comparação entre a  $PC_c$  e  $PC_i$  foram encontrados por Berthoin *et al.*<sup>34</sup>, analisando crianças em corridas contínuas e intermitentes com períodos de esforço e pausa de 15s:15s, e por Okuno<sup>35</sup> em cicloergômetro, com uma amostra semelhante, utilizando a razão de esforço e pausa de 30s:30s, porém com pausas passivas. Logo, a utilização do método para a predição da  $PC_i$  retirando os períodos das pausas recuperativas nos testes preditivos intermitentes leva a uma  $PC_i$  maior que a  $PC_c$ , fato que corrobora estudos anteriores<sup>33,34,35,36</sup>. Este ajuste parece ser de grande importância na predição da  $PC_i$  ao assumir que, tanto a relação dos regimes de esforço e pausa (1:1) quanto a duração são fixas nas intensidades intermitentes. Porém, quando a duração se torna

variável na mesma relação esforço e pausa (1:1), não há diferenças entre a velocidade crítica contínua (VCc) e intermitente (VCi)<sup>32</sup>. Essa seria a principal causa para justificar o fato dos resultados ora apresentados não corroborarem os achados de Kachouri *et al.*<sup>32</sup>.

Adicionalmente, altos coeficientes de correlação foram verificados entre as estimativas para PCc e PCi ( $r = 0,96$ ,  $P < 0,001$ ), e entre ambos os parâmetros com o  $VO_2\text{max}$  ( $L \cdot \text{min}^{-1}$ ) ( $r = 0,91$  e  $0,90$ ;  $P < 0,001$ ), respectivamente. Estes resultados fortalecem o construto no qual se considera os parâmetros de PCc e PCi indicadores da capacidade aeróbia, tanto em esforços contínuos como intermitentes. Porém, semelhantemente ao reportado por Berthoin *et al.*<sup>34</sup> e Okuno<sup>35</sup>, um baixo valor de correlação foi encontrado entre a CTAc e CTAi ( $r = 0,44$ ;  $P = 0,20$ ). Além disso, Buccheit *et al.*<sup>36</sup> não encontraram relação significativa entre os valores de CTAi em corridas com mudanças de direção ao assumir diferentes razões de esforço e pausa (15s:15s *versus* 30s:30s). Neste sentido, a predição da CTAi se mostra dependente do protocolo nas diferentes razões de esforço e pausa. Além disso, uma maior dependência do metabolismo anaeróbio láctico é encontrada em maiores períodos de duração entre as razões de esforço:pausa em exercícios intermitentes<sup>69</sup>, o que justifica maiores [La] nos regimes de 30s:30s em comparação aos de 15s:15s<sup>36</sup>.

Berthoin *et al.*<sup>34</sup> e Okuno<sup>35</sup> não verificaram diferenças entre os parâmetros CTAc e CTAi, diferentemente do observado no presente estudo, que demonstrou uma CTAi maior do que a CTAc. O fato de ocorrer diferenças entre a CTAc e CTAi deve-se principalmente a exclusão dos períodos de recuperação<sup>34,35</sup>. Da mesma forma, isso justifica maiores valores de PCi em comparação a PCc. O mesmo procedimento foi realizado no presente estudo, entretanto um resultado diferente foi verificado. Como o diferencial em relação aos estudos anteriores foi a utilização das pausas ativas ( $P_{50\%rec}$ ), isto poderia refletir em maiores valores de CTAi por uma possível contribuição na remoção dos metabólitos musculares (ex: lactato e Pi)<sup>65</sup> que pode ser benéfica na capacidade de gerar trabalho nos períodos de esforços intermitentes seguintes e/ou por uma melhor ressíntese de PCr<sup>79</sup>. No entanto, essa segunda possibilidade parece ser mais remota.

Um resultado interessante do atual trabalho foi que a CTAi se correlacionou positivamente com os valores de  $[La_{max}]$  ( $r = 0,70$ ;  $P < 0,05$ ), mas não

com o  $VO_2\text{max}$  ( $r = 0,54$ ;  $P = 0,10$ ), diferentemente do observado para a CTAc, que não se correlacionou significativamente com a  $[La_{\text{max}}]$  ( $r = 0,06$ ;  $P = 0,70$ ), mas sim com o  $VO_2\text{max}$  ( $r = 0,69$ ;  $P < 0,05$ ). A baixa correlação ente CTAc e  $[La_{\text{max}}]$  observada é corroborada por Housh *et al.*<sup>80</sup> ( $r = -0,06$ ). Além disso, a CTAc não apresenta boa concordância quando determinada pelos modelos lineares e o hiperbólico em esforços contínuos<sup>81,82</sup>. No entanto, a relação encontrada entre a CTAi e  $[La_{\text{max}}]$  ainda não demonstra ser uma forte evidência para a validade da CTAi como um índice da capacidade anaeróbia em esforços intermitentes. Assim, mais investigações são necessárias sobre a utilização deste parâmetro em esforços de natureza intermitente.

## 7.2 RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E PERCEPTUAIS NOS TESTES PREDITIVOS, NA PCc E PCi

Este estudo foi o primeiro a analisar o comportamento de diferentes respostas fisiológicas ( $[La]$ ,  $VO_2$  e FC) e perceptuais (PSE) nas intensidades da PCc (191,9 W) e PCi (245,5 W) até o Tlim. Os resultados demonstram não haver diferenças estatísticas para as variáveis analisadas ao se compararem os tempos de análises na PCc com a PCi (figura 4). Parte das similaridades entre as respostas fisiológicas e perceptuais podem ser devido ao fato da média da potência na PCi, ao considerar a própria PCi e a carga da  $P_{50\%rec}$  ( $187,4 \pm 32,9$  W) ser muito próxima da PCc. Desta forma, o modelo de PC parece ser válido ao formato em esforços intermitentes na PCi, pois converge com respostas similares para as demandas fisiológicas supracitadas, e também em uma mesma potência média em comparação com a PCc.

Durante os testes preditivos contínuos e intermitentes, os valores finais de  $[La]$ ,  $VO_2$  e FC não foram diferentes estatisticamente dos resultados encontrados no teste incremental para  $[La_{\text{max}}]$ ,  $VO_2\text{max}$  e  $FC_{\text{max}}$ , respectivamente. Já para a PSE, os valores individuais foram todos acima de 19 pela escala de Borg<sup>11</sup>. Resultados similares foram encontrados por Okuno<sup>35</sup> e Demariel *et al.*<sup>83</sup> em esforços contínuos e intermitentes, e por Dupont *et al.*<sup>33</sup> em esforços intermitentes. Desta forma, é possível obter respostas fisiológicas máximas de  $[La_{\text{max}}]$ ,  $VO_2\text{max}$  e

FCmax, a partir da aplicação de testes exaustivos, tanto contínuos quanto intermitentes de alta intensidade<sup>83</sup>.

Para os testes realizados na PCc e PCi, as variáveis [La], VO<sub>2</sub> e FC correspondentes ao Tlim foram significativamente menores em comparação com [La<sub>max</sub>], VO<sub>2</sub>max e FCmax ( $P < 0,05$ ), respectivamente. Além disso, os valores percentuais no Tlim na PCc e PCi em relação ao alcançado no teste incremental foram de 81,8 % para [La] (7,9 e 7,8 mM) e 82,5 e 85,2 % para VO<sub>2</sub> (35,5 e 36,6 ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>), respectivamente. Poole *et al.*<sup>43</sup> verificaram respostas similares para VO<sub>2</sub> (79,1 % do VO<sub>2</sub>max), mas menores para valores absolutos de lactato (5,6 mM). Contudo, no presente estudo, a variável fisiológica que mais se aproximou do máximo atingido do teste incremental foi a FC no Tlim dos testes na PCc (93,3 %) e PCi (92,5 %), mantendo diferenças significativas em relação a FCmax.

O aumento das [La] no músculo acontece devido a uma alta taxa de mobilização da via glicolítica, que causa um aumento na concentração de íons H<sup>+</sup> e, conseqüentemente, uma queda do pH<sup>66</sup>. Isso, por sua vez, causa uma inibição da PFK, prejudicando o acoplamento de cálcio nos filamentos de troponina, o que reduz a capacidade de contração muscular<sup>84</sup>. Entretanto, o aumento da [La] associado ao aumento nos íons H<sup>+</sup> em nível muscular também tem demonstrado não causar um efeito negativo na função contrátil<sup>85</sup>. Como os valores da [La] na PCc e PCi foram menores do [La<sub>max</sub>], e isto nos leva a crer que a ocorrência da exaustão não tenha sido devido à [La]. Porém, uma possível depleção dos estoques de glicogênio muscular<sup>86</sup> pode estar relacionada com a exaustão durante o exercício realizado na PCc e PCi. No entanto, esta observação deve ser analisada com cautela devido o fato de não ter sido observado queda nas [La] durante o exercício na PCc e PCi, o que de forma contrária seria um indicador indireto de uma possível depleção nos estoques de glicogênio muscular. Mas vale lembrar que não foi o objetivo do presente estudo identificar os mecanismos que levaram à ocorrência da exaustão, até porque a metodologia adotada não permite esta inferência.

A relação entre PCr e VO<sub>2</sub> pode se dar pela dependência do metabolismo aeróbio em relação à ressíntese dos estoques de PCr durante as pausas recuperativas<sup>79</sup>. Isso faz que o exercício realizado de forma intermitente, acima de esforços contínuos, seja tolerado por um longo período<sup>66</sup>. Além disso, este fato pode contribuir para uma diminuição da via glicolítica nos esforços intermitentes,

durante as pausas, o que pode justificar valores semelhantes de [La] durante a PCc e PCi.

O aumento da FC em exercício está relacionado inicialmente a uma retirada da influência do sistema nervoso parassimpático, seguido de um aumento do sistema nervoso simpático<sup>87</sup>. Além disso, a distribuição do fluxo sanguíneo para outros tecidos faz que a atividade cardíaca sofra estímulos adicionais ao longo do exercício<sup>88</sup>. Isso pode justificar os valores percentuais maiores para FC em comparação a [La] e  $VO_2$  no Tlim na PCc e PCi.

Embora existam estudos que investigaram as respostas fisiológicas durante o exercício realizado na PCc<sup>46,47,56-59</sup>, ainda não há dados na literatura que comparem as mesmas respostas na PCc e PCi, o que dificulta eventuais comparações com o presente estudo. Porém, Okuno<sup>35</sup> analisou as respostas das respectivas variáveis ([La],  $VO_2$ , FC e PSE) durante a intensidade no máximo estado estável de lactato intermitente (MEELi = 254 W) e na PCi (267 W) durante 30 min. Foram verificadas diferenças entre as intensidades somente para [La] a partir do 20° min e para PSE a partir do 25° min, durante 30 min de teste na PCi. Assim, a PCi parece superestimar a condição de estabilidade fisiológica ao se comparar com o MEELi, no que diz respeito a [La] e PSE.

Para a PSE os valores referentes ao Tlim para PCc (18,4) e PCi (19,4) ficaram na zona classificada por Borg<sup>11</sup> entre “muito intenso” e “muito, muito intenso”. Assim, parece que a ocorrência da exaustão se relaciona a um alto valor de PSE. Um fator limitante do atual trabalho para a PSE é que não há como indicar um valor de repouso, embora possa se assumir o valor mínimo da escala<sup>35</sup>. Contudo, como a escala é somente válida em situações de exercício<sup>11</sup>, preferiu-se não assumir o valor mínimo da escala de Borg<sup>11</sup> como medida de repouso demonstrada na figura 4 para PSE. Este fato levou a um comportamento visualmente linear para a PSE na PCc e PCi. Por sua vez, a resposta linear da PSE ao longo de testes prolongados foi corroborado por Baldwin *et al.*<sup>86</sup> em testes realizados a ~70% do  $VO_2$ max em cicloergômetro, em situações de baixa e alta dieta de carboidrato. Além disso, os autores observaram valores de PSE de 18,1 em ambas as situações no Tlim (>80-min). Entretanto, os valores de  $VO_2$  (~44 e 45  $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ ) no Tlim foram bem menores do que o  $VO_2$ pico (64  $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ ), a FC ficou abaixo (155 e 158 bpm) da máxima predita para idade dos sujeitos (192 bpm) e

as [La] foram próximas de 5mM. Vale ressaltar que a manipulação experimental é diferente do atual estudo, mas demonstra que o conteúdo de glicogênio se relaciona com a PSE, embora esta afirmação seja conflitante<sup>89</sup>.

Não é possível afirmar que a PSE se associa com as variáveis fisiológicas investigadas no presente estudo. Mas tradicionalmente as evidências científicas têm sugerido uma influência de sinais periféricos (musculares) e centrais (cardiorrespiratórios)<sup>90-94</sup> sobre o aumento da PSE, inclusive em esforços intermitentes<sup>95</sup>. Entretanto, pouco se sabe sobre a relação causal que contribui para o aumento da PSE, tendo em vista que alguns autores demonstram uma dissociação entre variáveis fisiológicas, como por exemplo, [La] e a PSE<sup>96</sup>. Além disso, o aumento da PSE parece estar relacionado a um possível mecanismo antecipatório para predição da tolerância em exercício físico<sup>97</sup>. Porém, como o mecanismo que influencia a PSE tem sido alvo de grande discussão entre os pesquisadores, não nos cabe apontar a causa deste fenômeno, tendo em vista recentes modelos teóricos que conflitam com as atuais construções que envolvem a modulação da PSE frente aos vários formatos de exercícios físicos existentes<sup>98</sup>.

Desta forma, as similaridades das respostas fisiológicas para [La],  $VO_2$ , FC e perceptuais (PSE) entre a PCc e PCi, apontam para validade do modelo de potência crítica em esforços intermitentes.

### 7.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE O TLIM

Testes com cargas constantes até a exaustão (Tlim) são frequentemente aplicados para predição do desempenho tanto em esforços contínuos<sup>4,10,99</sup> quanto em intermitentes<sup>72,83</sup>. Além disso, por meio da utilização de testes até o Tlim, é possível estimar a relação entre intensidade-tempo em vários tipos de exercícios<sup>1,2,4,7,10,33-36,72</sup>. Porém, a reprodutibilidade para o Tlim em corredores apresenta baixos índices pela coeficiente de correlação intraclasse (ICC: 5km = 0,45; 1,5km = 0,57) em comparação com testes de desempenho em corrida contra relógio (ICC: 5km = 0,95; 1,5km = 0,88)<sup>99</sup>. Mas em cicloergômetro, a

estimativa da PCc por meio de testes até o Tlim geraram altos índices de concordância para PCc, mas não para CTAc<sup>10,82</sup>.

Vale lembrar que o modelo de PC prevê que o Tlim, ou a incapacidade de gerar trabalho em uma determinada intensidade, ocorreria por uma falha no fornecimento de energia quando o exercício é realizado acima da intensidade da PC<sup>100</sup>. Essa observação nos leva a crer então que os fatores limitantes são bioenergéticos<sup>102</sup>, e não devido a uma demanda fisiológica máxima, que por sua vez causaria limitações para realização do trabalho muscular, seja por vias centrais e/ou periféricas<sup>102</sup>. Contudo, no presente estudo, as respostas de [La], VO<sub>2</sub> e FC não indicaram uma demanda fisiológica máxima. Assim, cabe uma questão pertinente que o modelo de PC não explica. Qual o mecanismo fisiológico que estaria relacionado com o Tlim observado no presente estudo e em outros nas intensidades da PCc e/ou PCi? Deve-se ainda considerar que nas intensidades supracitadas, não há previsão para esgotamento da CTA durante exercício realizado na PCc. E ainda, o Tlim na intensidade da PC ocorre por mecanismos bioenergéticos, ou por sinais aferentes que estariam ligados pelos processos de fadiga central ou periférica? Pode-se questionar também se fatores psicobiológicos não estariam relacionados à interrupção de qualquer exercício, seja acima ou abaixo da PCc<sup>102, 103</sup>.

#### **7.4 APLICAÇÕES PRÁTICAS E VARIAÇÕES COM O TREINAMENTO CONTÍNUO E/OU INTERMITENTE**

A grande vantagem da utilização dos parâmetros obtidos com o modelo de PC é seu baixo custo operacional, por ser um método não-invasivo e ainda se relacionar com o desempenho<sup>7,21,22</sup> e outros índices aeróbios<sup>2,5,15,16,17,18,45,51,68</sup>. Logo, sua utilização como parâmetro de controle e avaliação para prescrição e orientação em treinamento aeróbio torna-se um grande atrativo. Apesar de ainda existirem falhas conceituais e de validade do modelo de PC<sup>20</sup>, seus parâmetros (PC e CTA) se mostram sensíveis ao treinamento de sessões crônicas, sobretudo em exercícios a partir da intensidade da PCc. Mas sua variação está condicionada ao tipo de treinamento aplicado<sup>37,43,48,49,57</sup>. Além disso, o uso da PCi

também pode ser feito no controle da intensidade de esforços intermitentes, especificamente.

Desta forma, esforços intermitentes podem ser orientados a partir da intensidade da PCc<sup>43</sup> e/ou PCi. É importante notar que ao orientar a carga de treinamento intermitente acima da PCc, as pausas ativas devem ser aplicadas em intensidades abaixo da PCc para que haja recuperação parcial da CTA<sup>53</sup>. No entanto, a prescrição de diferentes intensidades utilizando os parâmetros PCi e CTAi pode diminuir o erro na aplicação das cargas de treinamento intermitente.

A variação dos parâmetros obtidos pelo modelo de PC não segue um padrão do tipo de treinamento utilizado. Gasser e Wilson<sup>37</sup>, observaram que tanto o treinamento contínuo (40-min a 50% do VO<sub>2</sub>pico, 3 x semana) quanto o intermitente (10 x 2-min no VO<sub>2</sub>pico, 3 x semana) durante 8 semanas promoveram aumentos na PCc (13,4% e 15,0%, respectivamente), mas não na CTAc. Ao realizar treinamento próximo a PCc (10 x 2-min a 105% da PCc, 3 x semana), Poole *et al.*<sup>43</sup> verificaram melhora na PCc (15%), porém a CTAc também não se alterou. Este padrão de variação foi seguido em atletas de canoagem após um mesociclo de treinamento misto, ou seja, aeróbio-anaeróbio, mostrando que a VCc foi melhorada, ao passo que a CTAc não se diferiu do mesociclo anterior<sup>104</sup>.

Entretanto, Jenkins e Quingley<sup>57</sup>, demonstraram que o treinamento intermitente de alta intensidade aumentou somente a CTAc (49%), seguido de um aumento nas concentrações de lactato pico (33%), porém sem mudanças na PCc. Por sua vez, o treinamento aeróbio contínuo em cicloergômetro promoveu melhora somente na PCc (31%) e VO<sub>2</sub>max (8,5%), mas não na CTAc<sup>57</sup>. No entanto, Bishop e Jenkins<sup>49</sup>, ao aplicar sessões de treinamento com pesos por seis semanas verificaram aumentos na CTAc (34,9%) e na carga de 1-RM para membros inferiores (28,6%), mas não para PCc e VO<sub>2</sub>max.

Adicionalmente, as mudanças das respostas fisiológicas foram observadas de forma absoluta, mas o comportamento estável para VO<sub>2</sub> e [La] no exercício realizado na PCc foi observado tanto na condição pré quanto pós treinamento<sup>43</sup>.

Parte das diferentes respostas sobre as variações dos parâmetros PCc e CTAc se devem a característica de treinamento empregado. Embora sejam aplicadas sessões de exercícios intermitentes, as mesmas podem manter demandas

fisiológicas estáveis<sup>37,35</sup>, ou não estáveis<sup>48</sup>, o que pode explicar em parte as diferentes respostas nos respectivos parâmetros.

Assim, considerar ambos os parâmetros (PCc e PCi) para orientações de cargas de treinamento pode ser uma alternativa viável como uma ferramenta para o treinamento que visa a melhora do condicionamento aeróbio. Entretanto, ainda não há informações na literatura que verificasse a sensibilidade com o treinamento aeróbio e/ou anaeróbio sobre a PCi. Embora se tenha observados semelhantes respostas fisiológicas e Tlim em ambos os parâmetros (PCc e PCi) e excelente relação com índices aeróbios, não dá para afirmar que as mudanças nos parâmetros (PC e CTA) bem como as adaptações fisiológicas mediante treinamento físico contínuo prescrito pela PCc sejam semelhantes ao baseado na PCi em treinamento intermitente, se forem igualmente aplicados de forma relativa. Logo, parece ser pertinente estudos futuros que se comprometam a estudar esta questão.

As limitações do presente estudo foram que a condição física inicial dos sujeitos foi muita heterogênea. Da mesma forma, a prática de exercício físico por parte dos sujeitos estudados foi muito variável, pois havia indivíduos que praticavam atividades muito diferentes quanto a sua característica fisiológica e grau de exigência motora, o que pode gerar diferentes ajustes agudos com a demanda exigida para os exercícios realizados no presente estudo. Além disso, o número excessivo de testes exaustivos foi um fator que pode ter influenciado negativamente na motivação dos sujeitos durante a execução do estudo.

## 8 CONCLUSÕES

---

---

O presente estudo mostrou que o modelo de exercício intermitente em cicloergômetro, utilizando pausas ativas na recuperação ( $P_{50\%rec}$ ), apresentou um excelente ajuste ao modelo matemático de PC (hipérbole) por meio da relação entre a potência e o  $T_{lim}$ , assim como em exercício contínuos<sup>2</sup>. Além disso, os parâmetros estimados de forma intermitente ( $PC_i$  e  $CTA_i$ ) foram maiores quando comparado ao formato de exercício contínuo ( $PC_c$  e  $CTA_c$ ). Porém, ao se considerar a média da  $PC_i$  com a própria  $PC_i$  e a intensidade de recuperação ativa ( $P_{50\%rec}$ ), houve similaridade entre as potências médias geradas nos dois testes. Além disso, as respostas fisiológicas ( $VO_2$ , FC, [La]) e perceptuais (PSE) durante o exercício realizado na  $PC_c$  e  $PC_i$  não diferiram entre si.

O  $T_{lim}$  foi similar para as intensidades da  $PC_c$  e  $PC_i$ , e uma forte correlação foi observada para o  $T_{lim}$  na  $PC_c$  e  $PC_i$ , e entre as intensidades correspondentes à  $PC_c$  e  $PC_i$ . Desta forma, houve evidências de validade ao se adaptar o modelo de potência crítica a esforços intermitentes.

Adicionalmente, as respostas fisiológicas ( $VO_2$ , FC, [La]) ao final dos testes realizados na  $PC_i$  e  $PC_c$  foram significativamente menores aos valores máximos encontrados no teste incremental. Para PSE final, em média, nos testes na  $PC_c$  e  $PC_i$  foram classificadas pela escala de Borg<sup>11</sup> como “muito intenso” e muito, muito intenso”, respectivamente. Isto demonstra que a PSE pode ser um dos fatores limitantes para tolerância do exercício, tanto na  $PC_c$  quanto na  $PC_i$ .

# REFERÊNCIAS

---

---

1. Monod H, Scherrer J. The work capacity of a synergic muscular group. *Ergonomics*. 1965; 8:329-338.
2. Moritani T, Nagata A, DeVries HA, Muro M. Critical power as a measure of physical work capacity and anaerobic threshold. *Ergonomics* 1981; 24:339-350.
3. Hughson RL, Orok CJ, Staudt LE. A high velocity treadmill running test to assess endurance running potential. *Int J Sports Med*. 1994; 5:23-25.
4. Nakamura FY, Gancedo MR, Silva LA, Lima JRP, Kokubun E. Use of perceived exertion in determining critical velocity in deep water running. *Rev Bras Med Esporte* 2005; 11:1-5.
5. Wakayoshi K, Yoshida T, Udo M, Kasai T, Moritani T, Mutoh Y, Miashita M. A simple method for determining critical speed as swimming fatigue threshold in competitive swimming. *Int J Sports Med*. 1992; 13:367-371.
6. Kennedy MDJ, Bell GJ. A comparison of critical velocity estimates to actual velocities in prediction simulated rowing performance. *Can J Appl Physiol*. 2000; 25:223-235.
7. Nakamura FY, Borges TO, De-Oliveira FR, Soares-Caldeira LF, Bertuzzi RC, Matsushigue KA. Predição do desempenho aeróbio na canoagem a partir da aplicação de diferentes modelos matemáticos de velocidade crítica. *Rev Bras Med Esporte*; 2008, 14: 416-421.
8. Berthoin S, Baquet G, Dupont G, Blondel N, Mucci P. Critical velocity and anaerobic distance capacity in prepubertal children. *Can J Appl Physiol*. 2003; 28:561-75.
9. Hill DW. The critical power concept: A review. *Sports Med*. 1993; 16:237-254.
10. Nakamura FY, Okuno NM, Perandini LAB, Soares-Caldeira LF, Simões HG, Cardoso JR, Bishop D. Critical power can be estimated from non-exhaustive tests based on rating of perceived exertion responses. *J Strength Cond Res*. 2008; 22:937-943.

11. Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc.* 1982; 14:377-81.
12. Vanhatalo A, Doust J, Burnley. Determination of critical power using a 3-min all-out cycling test. *Med Sci Sports Exerc.* 2007; 39:548-555.
13. Vanhatalo A, Doust J, Burnley. A 3-min all-out cycling test is sensitive to a change in critical power. *Med Sci Sports Exerc.* 2008; 40:1693-1699.
14. Poole DC, Ward SA, Gardner GW, Whipp BJ. Metabolic and respiratory profile of the upper limit for prolonged exercise in man. *Ergonomics.* 1988; 31:1265-1279.
15. Wakayoshi K, Yoshida T, Udo M, Harada T, Moritani M, Mutoh Y, Miyashita M. Does critical swimming velocity represent exercise intensity at maximal lactate steady state? *Eur J Appl Physiol.* 1993; 66:90-95.
16. Hill DW, Smith JC. Determination of critical power by pulmonary gas exchange. *Can J Appl Physiol.* 1999; 24:74-86.
17. Le Chevalier JM, Vandewalle H, Thepaut-Mathieu C, Stein JF, Caplan L. Local critical Power is an index of local endurance. *Eur J Appl Physiol.* 2000; 81:120-127.
18. Nakamura FY, Brunetto AF, Hirai DM, Roseguini BT, Kokubun E. The perceived exertion threshold (PET) corresponds to the critical power and to an indicator of maximal oxygen uptake steady state. *Rev Bras Med Esporte* 2005; 11:197-202.
19. Peper ML, Housh TJ, Johnson GO. The accuracy of the critical velocity test for predicting time to exhaustion during treadmill running. *Int J Sports Med.* 1992; 13:1221-124.
20. Pringle JS, Jones AM. Maximal lactate steady state, critical power and EMG during cycling. *Eur J Appl Physiol.* 2002; 88:214-226.
21. Florence S, Weir JP. Relationship of critical velocity to marathon running performance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1997; 75:274-278.
22. Hill DW, Alain C, Kennedy MD. Modeling the relationship between velocity and time to fatigue in rowing. *Med Sci Sports Exerc.* 2003; 35:2098-2105.

23. Hill DW, Smith JC. A method to ensure the accuracy of estimates of anaerobic capacity derived using the critical power concept. *J Sports Med Phys Fitness* 1994; 34:23-37.
24. Chatagnon M, Pouilly J-P, Thomas V, Busso T. Comparison between maximal power in the power-endurance relationship and maximal instantaneous power. *Eur J Appl Physiol*. 2005; 94:711-717.
25. Tabata I, Nishimura K, Kouzaki M, Hirai Y, Ogita F, Miyachi M, Yamamoto K. Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and  $VO_2$ max. *Med Sci Sports Exerc*. 1996; 28:1327-1330.
26. Billat VL, Blondel N, Berthoin S. Determination of the velocity associated with the longest time to exhaustion at maximal oxygen uptake. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1999; 80:159-161.
27. Billat VL, Slawinski J, Bocquet V, Demarle A, Lafitte L, Chassaing P, Koralsztein JP. Intermittent runs at the velocity associated with maximal oxygen uptake enables subjects to remain at maximal oxygen uptake for a longer time than intense but submaximal runs. *Eur J Appl Physiol*. 2000; 81: 188-196.
28. Dupont G, Blondel N, Berthoin S. Time spent at  $VO_2$ max: a methodological issue. *Int J Sports Med*. 2003; 24:291-297.
29. Tardieu-Berger M, Thevenet D, Zouhal H, Prioux J. Effects of active recovery between series on performance during an intermittent exercise model in young endurance athletes. *Eur J Appl Physiol*. 2004; 93: 145-152.
30. Thevenet D, Leclair E, Tardieu-Berger M, Berthoin S, Regueme S, Prioux J. Influence of recovery intensity on time spent at maximal oxygen uptake during an intermittent session in young, endurance-trained athletes. *J Sports Sci*. 2008; 26:1313-1321.
31. Morton RH, Billat VL. The critical power model for intermittent exercise. *Eur J Appl Physiol*. 2004; 91: 303-307.
32. Kachouri M, Vandewalle H, Billat V, Huet M, Thomaïdis M, Jousselin E, Monod H. Critical velocity of continuous and intermittent running exercise: An example of the limits of the critical power concept. *Eur J Appl Physiol*. 1996; 73:484-487.

33. Dupont G, Blondel N, Lensele G, Berthoin S. Critical velocity and time spent at a high level of for short intermittent runs at supramaximal velocities. *Can J Appl Physiol* 2002; 27:103-115.
34. Berthoin S, Baquet G, Dupont G, Van Praagh E. Critical velocity during continuous and intermittent exercise in children. *Eur J Appl Physiol*. 2006; 98: 132-138
35. Okuno NM. Utilização do modelo de potência crítica e limiar de esforço percebido em exercícios intermitentes. Dissertação de mestrado. 2007: 62p.
36. Buchheit M, Laursen P, Millet GP, Pactat F, Ahmaidi S. Predicting intermittent endurance: critical velocity versus endurance index. *Int J Sports Med*. 2008; 29: 307-315.
37. Gaesser GA, Wilson LA. Effects of continuous and interval training on the parameters of the power-endurance time relationship for high-intensity exercise. *Int J Sports Med*. 1988; 9:417-421.
38. Gaesser GA, Carnevale TJ, Garfinkel A, Walter DO, Womack CJ. Estimation of critical power with nonlinear and linear models. *Med Sci Sports Exerc*. 1995; 27:1430-1438.
39. Bishop D, Jenkins DG, Howard A. The critical power function is dependent on the duration of the predictive exercise tests chosen. *Int J Sports Med*. 1998; 19:125-129.
40. Wilkie DR. Muscle function: a personal view. *J Exp Biol*. 1985; 115:1-13.
41. Morton RH. A 3-parameter critical power model. *Ergonomics*. 1996; 39:611-619.
42. Hopkins WG, Edmon IM, Hamilton BH, Macfarlane DJ, Ross BH Relation between power and endurance for treadmill running of short duration. *Ergonomics* 1989; 32:1565-1571.
43. Poole DC, Ward SA, Whipp BJ. The effect of training on the metabolic and respiratory profile of high-intensity cycle ergometer exercise. *Eur J Appl Physiol*. 1990; 59:421-429.

44. Toubekis AG, Tsami AP, Tokmakidis SP. Critical velocity and lactate threshold in young swimmers. *Int J Sports Med.* 2006; 27:117-123.
45. Greco CC, Bianco AD, Gomide E, Denadai BS. Validity of the critical speed to determine blood lactate response and aerobic performance in swimmers aged 10-15 years. *Sci Sports.* 2002; 17; 306-308.
46. Brickley G, Doust J, Williams CA. Physiological responses during exercise to exhaustion at critical power. *Eur J Appl Physiol.* 2002; 88:146-151.
47. McLellan TM, Cheung KSY. A comparative evaluation of the individual anaerobic threshold and the critical power. *Med Sci Sports Exerc.* 1992; 24:543-550.
48. Jenkins D, Quigley BM. The influence of high-intensity exercise training on the Wlim-Tlim relationship. *Med Sci Sports Exerc.* 1993; 25:275-282.
49. Bishop D, Jenkins DG. The influence of resistance training on the critical power function & time to fatigue at critical power. *Aust J Sci Med Sport* 1996; 28:101-105.
50. Smith JC, Stephens DP, Hall EL, Jackson AW, Earnest CP. Effect of oral creatine ingestion on parameters of the work rate-time relationship and time to exhaustion in high-intensity cycling. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1998; 77:360-365.
51. Miura A, Sato H, Sato H, Whip B, Fukuba Y. The effect of glycogen depletion on the curvature constant parameter of the power-duration curve for cycle ergometry. *Ergonomics.* 2000; 43:133-141.
52. Fukuba Y, Miura A, Endo M, Kan A, Yanagawa K, Whipp B. The curvature constant parameter of the power-duration curve for varied-power exercise. *Med Scis Sports Exere.* 2003; 35:1423-1418.
53. Nakamura FY, Pereira G, Hill DW, Berthoin S, Kokubun E. There is no anaerobic work capacity replenishment at critical power intensity: an indirect evidence. *Sci Sports.* 2008; 23:244-247.
54. Coats EM, Rossiter HB, Day JR, Miura A, Fukuba Y, Whipp B. Intensity-dependent tolerance to exercise after attaining VO<sub>2</sub>max in humans. *J Appl Physiol.* 2003; 95: 483-490.

55. Fukuba Y and Whipp B. A metabolic limit on the ability to make up for lost time in endurance events. *J Appl Physiol*. 1999; 87:853-861.
56. Housh DJ, Housh TJ, Bauge SM. The accuracy of the critical power test for predicting time to exhaustion during cycle ergometry. *Ergonomics*. 1989; 32:997-1004.
57. Jenkins DG, Quigley BM. Endurance training enhances critical power. *Med Sci Sports Exerc*. 1992; 24:1283-1289.
58. Overend TJ, Cunningham DA, Paterson DH, Smith WD. Physiological responses of young and elderly men to prolonged exercise at critical power. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1992; 64:187-193.
59. Simões HG, Denadai BS, Baldissera V, Campbell CS, Hill DW. Relationships and significance of lactate minimum, critical velocity, heart rate deflection and 3 000 m track-tests for running. *J Sports Med Phys Fitness*, 2005; 45: 441-451.
60. Jones AM, Wilkerson DP, DiMenna F, Fulford J, Poole DC. Muscle metabolic responses to exercise above and below the "critical power" assessed using <sup>31</sup>P-MRS. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2008; 294:R585-R593.
61. Brickley G, Green S, Jenkins DG, McEinery M, Wishart C, Doust JD, Williams. Muscle metabolism during constant- and alternating-intensity exercise around critical power. *Int J Sports Med*. 2007; 28: 300-305.
62. Pereira B, Souza-Junior T. *Metabolismo Celular e exercício físico: aspectos bioquímicos e nutricionais*. 1ª ed. São Paulo: Phorte, 2004.
63. Midgley AW, McNaughton LR, Wilkinson M. Is there an optimal training intensity for enhancing the maximal oxygen uptake of distance runners?: empirical research findings, current opinions, physiological rationale and practical recommendations. *Sports Med*. 2006; 36:117-132.
64. Gorostiaga EM, Walter CB, Foster C, Hickson RC. Uniqueness of interval and continuous training at the same maintained exercise intensity. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1991; 63:101-107.
65. Åstrand I, Åstrand PO, Christensen EH, Hedman R. Intermittent muscular work. *Acta Physiol Scand*. 1960: 48:448-453.

66. Glaister M. Multiple sprint work: physiological responses, mechanisms of fatigue and the influence of aerobic fitness. *Sports Med.* 2005; 35:757-777.
67. Balsom PD, Seger JY, Sjodin B, Ekblom B. Maximal-intensity intermittent exercise: effect of recovery duration. *Int J Sports Med.* 1992; 13:528-533.
68. Billat VL, Slawinski J, Bocquet V, Chassaing P, Demarle A, Koralsztein J-P. Very short (15s-15s) interval-training around the critical velocity allows middle-aged runners to maintain  $VO_2\text{max}$  for 14 minutes. *Int J Sports Med.* 2001; 22:201-208.
69. Nakamura FY, Silva KRT, Okuno NM, Pereira G, Kokubun E. Determinação da sobrecarga anaeróbia em exercício intermitente a partir do modelo de potência crítica. *Motriz* 2007; 13: 298-304.
70. Zagatto AM, Gobatto CA. Validação do modelo de frequência crítica em protocolo específico através de método indireto, para o tênis de mesa. *Lecturas Educación Física y Deportes*, 2007; 110: 1-7.
71. Zagatto AM, Papoti M, Gobatto CA. Anaerobic capacity may not be determined by critical power model in elite table tennis players. *J Sports Sci Med*, 2008; 7: 54-59.
72. Midgley AW, Mcnaughton LR, Carroll S. Physiological determinants of time to exhaustion during intermittent treadmill running at  $vVO_2\text{max}$ . *Int J Sports Med.* 2007; 28:273-280.
73. Noakes T. *Lore of running*. 4th ed. Human kinetics. 2002, 930pg.
74. Edwards RH, Melcher A, Hesser CM, Wigertz O, Ekelund LG. Physiological correlates of perceived exertion in continuous and intermittent exercise with the same average power output. *Eur J Clin Invest.* 1972; 2:108-114.
75. Beneke R. Methodological aspects of maximal lactate steady state – implications for performance testing. *Eur J Appl Physiol.* 2003; 89:95-99.
76. Campbell JID, Thompson VA. More power to you: simple power calculations for treatment effects with one degree of freedom. *Behavior Research Methods, Instruments, and Computers*, 2002; 34: 332-337.

77. Heubert RAP, Billat VL, Chassaing P, Bocquet V, Morton RH, Koralsztein JP, di Prampero PE. Effect of a previous sprint on the parameters of work-time to exhaustion relationship in high intensity cycling. *Int J Sports Med*. 2005; 26:583-592.
78. Tanaka H, Monahan KD, Seals DR. Age-predicted maximal heart rate revisited. *J Am Coll Cardiol*. 2001; 37:153-156.
79. Bogdanis GC, Nevill ME, Boobis LH, Lakomy HKA. Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. *J Appl Physiol*, 1996; 3: 876-884.
80. Housh TJ, Johnson GO, McDowell SL, Housh DJ, Pepper ML. The relationship between anaerobic running capacity and peak plasma lactate. *J Sports Med Phys Fitness*, 1992; 32: 117-122.
81. Morton RH, Green S, Bishop D, Jenkins DG. Ramp and constant power trials produce equivalent critical power estimates. *Med Sci Sports Exerc*, 1997; 29: 833-836.
82. Nakamura FY, Okuno N, Soares-Caldeira LF, Perandini LAB, Hirai D, Chimin P. Reprodutibilidade dos parâmetros do modelo de potência crítica em cicloergômetro. *Revista Mackenzie de Educação Física e Esporte*, 2008d; 7: 77-88.
83. Demariel S, Koralsztein JP, Billat V. Time limit and time at  $VO_2$ max, during a continuous and an intermittent run. *J Sports Med Phys Fitness*, 2000; 40: 96-102.
84. Sahlin K. Metabolic factors in fatigue. *Sports Med*, 1992; 13: 99-107.
85. Brooks GA. Lactate doesn't necessarily cause fatigue: why are we surprised? *J Physiol*, 2001; 536; 1.
86. Baldwin J, Snow RJ, Gibala MJ, Garnham A, Howarth K, Febbraio MA. Glycogen availability does not affect the TCA cycle or TAN pools during prolonged, fatiguing exercise. *J Appl Physiol*, 2003; 94: 2181-2187.
87. Robinson BF, Epstein SE, Beiser GD, Braunwald E. Control of heart rate by autonomic nervous system: studies in man on the interrelation between baroreceptor mechanisms and exercise. *Circ Res*, 1966; 19: 400-411.

88. Lonsdorfer-Wolf E, Richard R, Doutreleau S, Billat VL, Oswald-Mammosser M, Lonsdorfer J. Pulmonary hemodynamics during a strenuous intermittent exercise in healthy subjects. *Med Sci Sports Exerc*, 2003; 35: 1866-1874.
89. Timmons BW, Bar-Or O. RPE during prolonged cycling with and without carbohydrate ingestion in boys and men. *Med Sci Sports Exerc*, 2003; 35: 1901-1907.
90. Cafarelli E. Peripheral and central inputs to the effort sense during cycling exercise. *Eur J Appl Physiol*, 1977; 37: 181-189.
91. Borg G, Ljunggren G, Ceci R. The increase of perceived exertion, aches and pain in the legs, heart rate and blood lactate during exercise on a bicycle ergometer. *Eur J Appl Physiol*, 1985; 54: 343-349.
92. Mihevic PM. Sensory cues for perceived exertion: a review. *Med Sci Sports Exerc*, 1981; 13: 150-163.
93. Eston RG, Lamb KL, Parfitt G, King. The validity of predicting maximal oxygen uptake from a perceptually-regulated graded exercise test. *Eur J Appl Physiol*, 2005; 94: 221-227.
94. Faulkner J, Parfitt G, Eston R. Prediction of maximal oxygen uptake from the ratings of perceived exertion and heart rate during a perceptually-regulated sub-maximal exercise test in active and sedentary participants. *Eur J Appl Physiol*, 2007; 101: 397-407.
95. Green JM, Mclester JR, Crews TR, Wickwire PJ, Pritchett RC, Lomax RG. RPE Association with lactate and heart rate during high-intensity interval cycling. *Med Sci Sports Exerc*, 2006; 38: 167-172.
96. Green JM, McLester JR, Crews TR, Wickwire PJ, Pritchett RC, Redden A. RPE-lactate dissociation during extended cycling. *Eur J Appl Physiol*, 2005; 94: 145-150.
97. Noakes TD. Rating of perceived exertion as a predictor of the duration of exercise that remains until exhaustion. *Br J Sports Med*, 2008; 42: 623-624.
98. Marcora SM. Perception of effort during exercise is independent of afferent feedback from skeletal muscles, heart and lungs. *J Appl Physiol*, 2008; In Press.

99. Laursen PB, Francis GT, Abbiss CR, Newton MJ, Nosaka K. Reliability of time-to-exhaustion versus time-trial running tests in runners. *Med Sci Sports Exerc*, 2007; 8: 1374-1379.
100. Nakamura FY, Borges TO, Sales OR, Cyrino ES, Kokubun E. Estimativas do custo energético e contribuição das diferentes vias metabólicas na canoagem de velocidade. *Rev Bras Med Esporte*, 2004; 2: 1-8.
101. Morton RH. The critical power and related whole-body bioenergetic models. *Eur J Appl Physiol*, 2006; 96: 339-354
102. Aman M, Calbet JAL. Convective oxygen transport and fatigue. *J Appl Physiol*, 2008; 104: 861-870.
103. Wright RA. Refining the prediction of effort: brehm's distinction between potential motivation and motivation intensity. *Social and Personality Psychology Compass* 2/2, 2008: 682-701.
104. Nakamura FY, Cyrino ES, Borges TO, Okano AH, Melo, JC, Fontes EB. Variação dos parâmetros do modelo de potência crítica em resposta a treinamento de canoagem. *Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum*, 2006; 8: 5-12.

## **ANEXOS**

## Anexo 1 – Termo de consentimento livre esclarecido

---

### I – DADOS DE IDENTIFICAÇÃO DO SUJEITO DA PESQUISA OU LEGAL RESPONSÁVEL

---

#### 1. Nome do participante:

.....

Documento de Identidade Nº :.....Sexo: ( ) M ( ) F

Data de Nascimento:...../...../.....

Endereço:.....Nº:.....A

pto:.....Bairro:.....CEP:.....

Cidade:.....

Telefone:.....E-mail:.....

---

### II – DADOS SOBRE A PESQUISA

**1. Título do Protocolo de Pesquisa:** Potência crítica em esforços contínuos e intermitentes: respostas fisiológicas e tempo até exaustão.

**2. Pesquisador:** Dr. Fábio Yuzo Nakamura

Função: Professor Adjunto do Centro de Educação Física e Desportos - UEL

Departamento de Fundamentos da Educação Física

#### 3. Avaliação do Risco da Pesquisa:

Sem Risco ( )

Risco Mínimo (X)

Risco Médio ( )

Risco Baixo ( )

Risco Maior ( )

**1. Duração da Pesquisa:** O experimento será conduzido em 1 (uma) fase, sendo realizado somente coleta de dados.

---

### III – REGISTRO DAS EXPLICAÇÕES DO PESQUISADOR AO PACIENTE OU SEU REPRESENTANTE LEGAL SOBRE A PESQUISA, CONSIGNANDO:

**1. Justificativa e objetivo:** Tradicionalmente, o modelo de PC tem sido aplicado em exercícios físicos de natureza contínua. A literatura tem apontado que sessões de exercícios físicos intermitentes têm obtido melhoras com o treinamento, tanto nos índices fisiológicos aeróbios, quanto anaeróbios. Além disso, embora seja válido que, o modelo de PC se adéqüe a condições em que o exercício físico é realizado

de forma contínua e intermitente por meio de testes preditivos, ainda não há conhecimento sobre as respostas fisiológicas durante o exercício na intensidade da PCi comparado com a PCc. Estes por sua vez, podem ser parâmetros úteis para a prescrição de intensidades de treinamento. E ainda, pouco se sabe sobre a aplicação prática desses parâmetros em situações de avaliação e prescrição de exercícios com alternância de esforços e pausas ativas a 50% da máxima potência aeróbia (MPA) nos esforços intermitentes.

A determinação desses parâmetros poderia servir de base para que orientação em treinamento de exercícios intermitentes e que possam ser quantificados com relação à sobrecarga imposta ao organismo. Nosso grupo já apresentou anteriormente algumas formas alternativas de aplicação do modelo de potência crítica nesse tipo de esforço. No entanto, ainda não há consenso sobre a forma mais adequada de utilização do modelo, já que recentemente outros autores têm proposto modelagens diferenciadas.

Desta forma o objetivo do presente estudo é estender a aplicação do modelo de potência crítica para protocolos de exercício intermitente com recuperação ativa e verificar seu Tlim em ambas as intensidades.

**2. Procedimentos que serão adotados durante a pesquisa:** O estudo será dividido em 3 etapas compostas por: (1) um teste incremental (2) testes preditivos para a determinação da PCc e PCi de forma aleatória; e, (3) teste até exaustão com avaliação das respostas fisiológicas de FC,  $VO_2$ , [La] e PSE durante as intensidade na PCc e PCi.

**Teste incremental:** O teste incremental do tipo rampa será realizado inicialmente com uma carga a 30 W e a cada três minutos serão aumentados 30 W até a exaustão voluntária do indivíduo, ou até o momento em que o mesmo não conseguir manter a velocidade pré-estabelecida de 70 RPM.

**Estimativa da PC e PCi por meio de protocolos contínuos e intermitentes, respectivamente:** Os sujeitos realizarão quatro testes de cargas constantes até a exaustão em uma intensidade em que poderão tolerar por um período compreendido entre 2-15 min. A exaustão será considerada quando o indivíduo não conseguir manter a cadência do pedal pré-estabelecida (~70 RPM).

**Estimativa da PCi, os sujeitos realizarão testes máximos com durações de esforços e recuperação ativa a 50% da MPA de 30:30 s.** As cargas impostas deverão induzir os indivíduos à exaustão por um período compreendido de 2-15 somente computando os períodos de esforços.

**Teste máximo intermitente na PCc e PCi:** Após as realizações das estimativas os sujeitos serão submetidos a um teste de esforço na PCc e PCi, de forma aleatória. Na PCi, realizando-se períodos de alternância entre esforços e pausas de 30:30 s.

**Análise de Lactato sanguíneo:** Vinte e cinco microlitros de sangue serão coletados do lóbulo anteriormente ao início do teste, e a cada 10 min de esforço, bem como ao final de cada teste. O teste será até a exaustão. Os avaliadores utilizarão luvas descartáveis,

e o lóbulo da orelha do participante será desinfetado com algodão embebido em álcool. A perfuração será realizada com lancetas descartáveis, e o sangue será coletado por meio de capilares de vidro, também descartáveis.

**3. Desconfortos e riscos:** No presente estudo todo o esforço será feito para minimizar os possíveis riscos a integridade física dos participantes através de informações preliminares relacionadas aos níveis de saúde e aptidão física desses sujeitos mediante observações realizadas durante o período dos testes.

**4. Benefício esperado:** Espera-se que a partir dos resultados obtidos neste experimento possa estender a aplicação do modelo de PCc e PCi com recuperação ativa, demonstrando a validade e o significado fisiológico neste tipo de exercício.

---

## **V – ESCLARECIMENTOS DADOS PELO PESQUISADOR SOBRE GARANTIAS DO SUJEITO DA PESQUISA**

**1. Exposição dos resultados e preservação da privacidade dos voluntários:** Os resultados obtidos nesse estudo serão submetidos a publicação, independente dos resultados encontrados, contudo sem que haja a identificação dos indivíduos que prestaram sua contribuição como sujeitos da amostra que serão mantidos em sigilo respeitando a privacidade conforme normas éticas.

**2. Despesas decorrentes da participação no projeto de pesquisa:** Os voluntários estarão isentos de qualquer despesa ou ressarcimento decorrente desse projeto de pesquisa.

**3. Liberdade de consentimento:** A permissão para participar desse projeto é voluntária. Portanto, os sujeitos estarão livres para negar esse consentimento ou parar de participar em qualquer momento desse estudo, se desejar, sem que isto traga prejuízo à continuidade da assistência.

**4. Questionamentos:** Os sujeitos envolvidos no experimento terão acesso, a qualquer tempo, às informações sobre procedimentos, riscos e benefícios relacionados à pesquisa. Quaisquer perguntas sobre os procedimentos experimentais utilizados nesse projeto são encorajadas. Se houver qualquer dúvida ou questionamento, por favor, nos solicite informações adicionais.

**5. Responsabilidade do participante:** As informações que você possui sobre o seu estado de saúde ou experiências prévias de sensações incomuns com o esforço físico poderão afetar a segurança e o valor do seu desempenho. O seu relato imediato das sensações durante os esforços também são de grande importância.

Você é responsável por fornecer por completo tais informações quando solicitado pelos avaliadores.

---

## **VI – PARA CONTATO**

### **Prof. Dr. Fábio Yuzo Nakamura**

Rua Maria de Lourdes Cardoso de Lima, 113.  
Condomínio Vale do Arvoredo - CEP 86047-590  
Telefone: (43) 33423975  
E-mail: fabioy\_nakamura@yahoo.com.br  
Londrina/PR

### **Prof. Mdo. Lúcio Flávio Soares Caldeira**

Av. Garibaldi Deliberador, 216 apto 23  
Jardim Cláudia – CEP 86050-280  
Telefone: (43) 33373721  
E-mail: luciocaldeira@yahoo.br  
Londrina/PR

## **VII – CONSENTIMENTO PÓS-ESCLARECIDO**

Declaro que, após convenientemente esclarecido pelo pesquisador e ter entendido o que me foi explicado, consinto em participar do presente Protocolo de Pesquisa.

Brasília, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2007.

---

Assinatura do participante

---

Assinatura do pesquisador  
(carimbo ou nome legível)

**Anexo 2 – Aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos.**


ANEXO A: Carta do comitê de ética em pesquisa envolvendo seres humanos.



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA



**COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA ENVOLVENDO SERES HUMANOS**

Parecer Nº 100/06	Londrina, 23 de agosto de 2006.
<b>PESQUISADOR(A): FÁBIO YUZO NAKAMURA</b>	
<p>Ilmo(a) Sr(a),</p> <p>O Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo Seres Humanos da Universidade Estadual de Londrina – CEP – UEL – de acordo com as orientações da Resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde/MS, <b>APROVA</b> a realização do projeto: <b>“UTILIZAÇÃO DO MODELO DE POTÊNCIA E LIMAR DE ESFORÇO PERCEBIDO EM EXERCÍCIOS INTERMITENTES”</b>.</p> <p>Informamos que deverá ser comunicado, por escrito, qualquer modificação que ocorra no desenvolvimento da pesquisa e deverá ser apresentado ao CEP/UEL relatório final da pesquisa.</p>	
Situação do Projeto: <b>APROVADO</b>	
<p>Atenciosamente,</p> <p></p> <p>Prof<sup>ª</sup>. Dra. Nilza Maria Diniz Comitê de Ética em Pesquisa Coordenadora</p>	





**CRONOGRAMA DE 2009**

<b>Atividades</b>	<b>Meses de 2009</b>		
	<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>
Definição do Tema			
Levantamento bibliográfico	X		
Redação do Problema			
Redação do Objetivo e Justificativa			
Redação da Metodologia			
Revisão de Literatura	X	X	
Correção do Projeto			
Entrega da Qualificação			
Qualificação da Dissertação			
Alterações da qualificação			
Coleta de dados			
Tabulação dos dados			
Análise Estatística			
Apresentação dos dados			
Redação da Conclusão	X		
Revisão Final da Dissertação		X	X
Entrega das 5 cópias da Dissertação	X		
Apresentação da Dissertação			X
Correção final e entrega			X
Reunião com o orientador	X	X	X